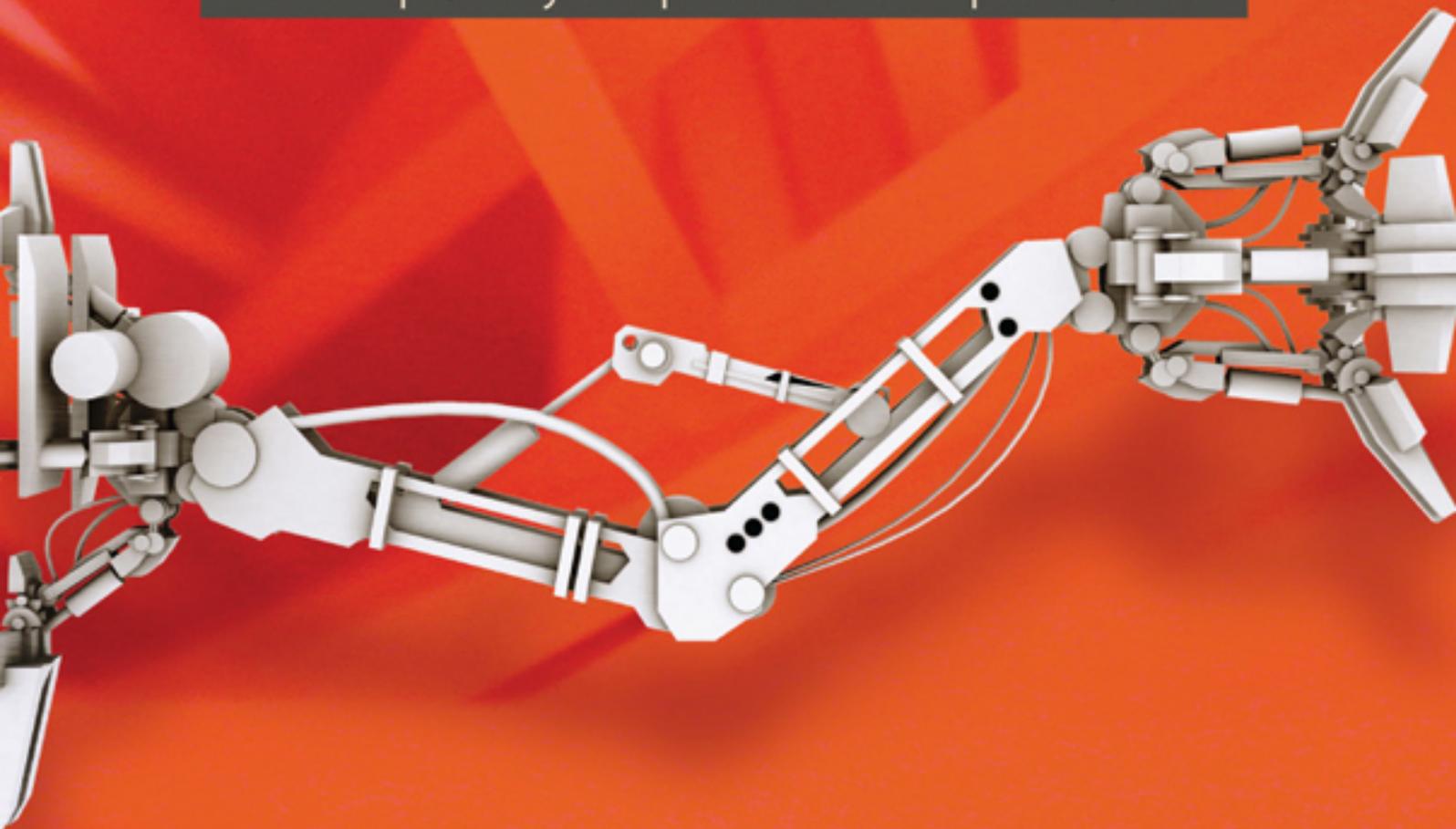




EL COLEGIO
DE SONORA

Tecnología y competitividad:

conceptos y experiencias prácticas



Alvaro Bracamonte Sierra
Oscar Fernando Contreras Montellano
(coordinadores)

Tecnología y competitividad:

conceptos y experiencias prácticas



Alvaro Bracamonte Sierra
Oscar Fernando Contreras Montellano
(coordinadores)

HF1414

.T43

Tecnología y competitividad : conceptos y experiencias prácticas
Alvaro Bracamonte Sierra, Oscar Fernando Contreras Montellano (coordinadores)
Hermosillo, Sonora, México : El Colegio de Sonora, 2014.

222 páginas ; 23 cm.

ISBN: 978-607-7775-44-7

Incluye referencias bibliográficas Competencia económica

Tecnología-Aspectos sociales

Innovaciones tecnológicas – Aspectos sociales

Empresas internacionales - México

Industria automotriz- Innovaciones tecnológicas

Tecnología de la información y comunicación (TIC's)

Desarrollo regional – Aspectos económicos

Industrias de alta tecnología –Sonora

Innovaciones tecnológicas- Sonora

Economía del conocimiento- Sonora

Relaciones industriales - Efecto de las innovaciones tecnológicas

Transferencia tecnológica-Sonora Tecnología y Estado.

I. Bracamonte Sierra, Alvaro, editor II. Contreras Montellano, Oscar F, editor

ISBN: 978-607-8576-21-0 (PDF)



El Colegio de Sonora
Doctora Gabriela Grijalva Monteverde
Rectora

Doctor Nicolás Pineda Pablos
Director de Publicaciones no Periódicas

Licenciada Inés Martínez de Castro N.
Jefa del Departamento de Difusión Cultural

ISBN: 978-607-7775-44-7

D.R. © 2014 El Colegio de Sonora
Obregón 54, Centro
Hermosillo, Sonora, México
C. P. 83000

<http://www.colson.edu.mx>
publicaciones@colson.edu.mx

Hecho en México / *Made in Mexico*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN. ESCALAMIENTO TECNOLÓGICO Y COMPETITIVIDAD. CONCEPTOS Y VINCULACIONES	5
Alvaro Bracamonte Sierra	
Oscar Fernando Contreras Montellano	
PARTE I. ESTRATEGIAS, TRAYECTORIAS Y DIVERSIDAD TECNOLÓGICA: EVIDENCIA REGIONAL Y SECTORIAL	11
LAS MULTINACIONALES EN MÉXICO. MULTIPLICIDAD DE OPCIONES EN EL DESARROLLO DE SUS ESTRATEGIAS TECNOLÓGICAS	12
Jorge Carrillo Viveros	
DESARROLLO REGIONAL EN MÉXICO DURANTE 2003-2011: POLARIZACIÓN DE LA MANUFACTURA Y DIVERSIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS	31
JORDY MICHELI THIRIÓN	
DE SISTEMA MECÁNICO A SISTEMA TECNOLÓGICO COMPLEJO: EL CASO DE LOS AUTOMÓVILES	47
Arturo Lara Rivero	
FORMACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HUMANOS PARA LA INNOVACIÓN EN MÉXICO	66
Giovanna Valenti Nigrini	
María Elena Pérez Campuzano	
PARTE II. SONORA: EXPERIENCIAS DE INNOVACIÓN Y ESCALAMIENTO COMPETITIVO	81
MICROSISTEMAS DE INNOVACIÓN: PARQUES TECNOLÓGICOS EN SONORA	82
Nydia Angélica Valenzuela Básaca	
Alvaro Bracamonte Sierra	

INNOVACIÓN BIOTECNOLÓGICA: EXPERIENCIAS DE I&D UTILIZANDO RESIDUOS DE CAMARÓN	109
--	-----

Jaime López Cervantes

Dalia Isabel Sánchez Machado

FANOSA: COMPETITIVIDAD, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y VINCULACIÓN. UN CASO DE ESTUDIO	122
---	-----

Alejandro Duarte Lucero

Juan Carlos Campoy Ross

Bernardo Chaparro Armenta

Rosana Méndez Barrón

INTRODUCCIÓN

ESCALAMIENTO TECNOLÓGICO Y COMPETITIVIDAD.

CONCEPTOS Y VINCULACIONES

Alvaro Bracamonte Sierra¹

Oscar Fernando Contreras Montellano²

La competitividad³ se ha convertido en una especie de *leitmotiv* para directores de empresas y autoridades del sector público responsables de la agenda económica. Alcanzarla no es una meta sino un proceso dinámico; se puede ser competitivo durante un tiempo y después dejar de serlo, si no se toman las medidas que permitan eludir esa posibilidad. Tomando en cuenta esta característica es preciso ubicar los factores que la determinan, a fin de incentivar un escalamiento sistemático y ordenado. Delimitar estos elementos no es una tarea sencilla, pues intervienen múltiples causas y dimensiones que van desde las macro hasta las microeconómicas pasando por las de carácter territorial -*mesoeconómicas*- y las de tipo cultural -*metaeconómicas*- (Esser et. al. 1994). Dada su complejidad, el estudio y la búsqueda de la competitividad debe abordarse desde distintas perspectivas, y el enfoque humanista no debe faltar si el propósito es promover un desarrollo integral sustentable. La misma importancia tendría la parte institucional y la estrictamente económica. Esta última adquiere por sí misma una complicación notoria, y su comprensión apropiada involucra la concurrencia de varias subdisciplinas científicas.

Una vertiente analítica señala que el ascenso competitivo se obtiene mediante el progreso tecnológico, la inversión en capital humano y el fortalecimiento de las capacidades empresariales, factores que conducen a una apropiación efectiva del nuevo conocimiento favorecedor de la productividad dentro de la empresa.⁴ La visión economicista señala como determinantes primarios de la competitividad la dotación de recursos naturales, la ubicación geográfica y la disponibilidad de mano de obra (abundante y barata).

¹ Profesor-investigador de El Colegio de Sonora. Correo electrónico: abraca@colson.edu.mx

² Investigador titular C en el Departamento de Estudios Sociales de El Colegio de la Frontera Norte (COLEF), km. 18.5, carretera escénica Tijuana-Ensenada, San Antonio del Mar, Tijuana, Baja California, C.P. 22560. Teléfono (664) 6316300, extensión 3201. Correo electrónico: ocontre@colef.mx

³ El origen del concepto competitividad se ubica en las escuelas de negocios de Estados Unidos, instituciones que enfatizaban las cuestiones gerenciales y empresariales. Se consideraba que las empresas competían con el objetivo de incrementar la cuota de mercado a escala local y mundial. A fines de los años ochenta y principios de los noventa, Michel Porter (1991) utilizó el término ventaja competitiva para referirse a los factores que determinan la competitividad de las empresas, y diferenciarlos de los basados en las ventajas comparativas que según él se heredan, mientras que las primeras se crean.

⁴ De acuerdo con Rodríguez Combeller (1999), “en la concepción general, la productividad es una medida de eficiencia económica y resulta de la relación entre los recursos utilizados y la cantidad de producto o servicios elaborados”.

Del énfasis que se le confiera a cada uno de estos elementos resultan modalidades distintas de competitividad. La anclada en los recursos naturales o en la fuerza de trabajo sería una competitividad básica, mientras que la que descansa en el capital humano y en el desarrollo tecnológico adquiere una naturaleza estructural. Esta última clase es la que más llama la atención y el interés, pues generarla demanda un ambiente institucional adecuado, condición que a menudo es difícil conseguir.⁵

De la clasificación antes referida se desprenden varias definiciones, que aluden tanto al tejido productivo territorial como a la firma en particular. En el ámbito espacial destaca la propuesta de Fajnzylber (1998, 10), quien sugiere que la competitividad es “la capacidad de un país para sostener y expandir su participación en los mercados internacionales y elevar simultáneamente el nivel de vida de la población. Esto exige el incremento de la productividad y, por ende, la incorporación de progreso técnico”. Productividad y progreso técnico son infaltables para el crecimiento de la empresa, para la cual la competitividad no es más que la capacidad para colocar sus productos en el mercado, y lograr que se prefieran en relación con los de la competencia (Francés 2006).

Como puede advertirse, en las definiciones anteriores está implícito el papel que se concede a la tecnología en el proceso competitivo. La aplicación de avances tecnológicos en la línea de producción propicia la mejora del nivel competitivo de la firma y de la región donde se establece.

Desde la antigüedad, la tecnología ha sido un factor relevante en la expansión de la economía de mercado. Los economistas clásicos (como Smith 1776 y Marx 1863) sostuvieron que la expansión del capitalismo fue el resultado natural de la revolución industrial, cuya génesis se ubica a partir de la aplicación de una amplia gama de avances tecnológicos. En general, dicha expansión ha estado marcada por la presencia de innovaciones tecnológicas que desplazan a las obsoletas.

Fue Joseph Schumpeter (1983) quien en especial reflexionó sobre esta característica intrínseca del sistema de mercado; en efecto, su idea de la destrucción creadora apunta a la presencia permanente de la innovación como el eje de la dinámica económica. Es decir, existe una íntima relación entre innovación,⁶ desarrollo tecnológico, crecimiento económico y competitividad. En un horizonte a largo plazo, si una empresa (o una región) no introduce de manera sistemática tecnología nueva en sus líneas de producción está condenada a perder cuotas de mercado de forma paulatina y por tanto a no ser competitiva.

Según estas consideraciones, la tecnología, la competitividad y la innovación deberán integrarse en la agenda de los gobiernos locales si pretenden convertirse en protagonistas visibles en una economía globalizada. Ahora bien, el concepto de tecnología como tal ha evolucionado, y ya no sólo se refiere a las máquinas y a los equipos sino que incluye también lo relativo a la información, conocimientos y decisiones necesarias para permitir funcionando eficientemente a una empresa y una región en el largo plazo. Así, la noción cuasi-estática de apropiación y transferencia tecnológica, como vía para escalar competitivamente, está

⁵ Las críticas al enfoque básico de la competitividad proponen un concepto más integral conocido como *competitividad estructural*. Se atribuye un papel especial a la base o estructura sobre la cual se erige el complejo productivo, el cual se compone de un entramado de relaciones gerenciales (empresariales) vinculadas con la innovación, el aprendizaje y la colaboración. Destacan como componentes clave los siguientes: a) la innovación, considerada central en el desarrollo económico; b) la capacidad de innovación de una organización industrial y el desarrollo de estrategias propias de aprendizaje; c) el papel de las redes de colaboración entre empresas y el apoyo del sector educativo para fomentar las capacidades de innovación (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE, 2001). La competitividad estructural mantiene como premisa que la productividad es su fuente; no obstante, esta idea no es compartida por todos. Para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el aumento per se de la productividad no implica más competitividad. El aumento en los niveles de productividad resulta poco efectivo ante la caída del ingreso por habitante (PIB per cápita), la disminución de la inversión, la reducción del gasto en investigación y desarrollo tecnológico, lo que en el mediano y largo plazo afecta la competitividad temporal derivada de un aumento espurio de la productividad (Bracamonte y Méndez 2005).

⁶ De acuerdo con la OCDE, una innovación es “la introducción de un nuevo o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o en las relaciones exteriores” (Oslo Manual 2006, 15).

dando paso al concepto dinámico de gestión estratégica de la tecnología y la innovación, donde éstas se constituyen en elementos medulares de los planes de operación de la empresa y del sector público.

Esta perspectiva estuvo ausente en la literatura sobre el desarrollo económico. Sin embargo, desde 1982 ha adquirido notoriedad luego de que Nelson y Winter (1982) reincorporaran en dicha discusión académica la importancia de la tecnología y la innovación. A partir de ahí se han formulado nuevos enfoques y modelos analíticos que establecen las coordenadas del avance tecnológico para las empresas y regiones.

Esta compilación intenta enmarcarse justo en esa línea de reflexión. Los materiales que contiene son producto de la discusión efectuada en la mesa “Tecnología y escalamiento competitivo”, celebrada en el marco del primer Coloquio Globalización y Territorios, organizado por el Centro de Estudios de América del Norte de El Colegio de Sonora, en el segundo trimestre de 2012. La idea original de ese foro fue analizar y discutir el papel de la tecnología y la innovación en el desarrollo de las ventajas competitivas, con una perspectiva regional y sectorial.⁷ Para ello fueron invitados reconocidos estudiosos de los temas referidos. Participaron además empresarios con experiencias exitosas y funcionarios públicos del gobierno del estado de Sonora cuya responsabilidad estuviera vinculada con la promoción tecnológica de la entidad.

De las ponencias presentadas se seleccionaron las que reunieron la calidad suficiente para ser integradas en este libro. La colección se complementó con invitaciones personales a expertos en esa línea de investigación, a fin de enriquecer el contenido del texto que ahora ponemos en sus manos.

La diversidad metodológica y conceptual de los trabajos elegidos es notable; no obstante, el común denominador es que abordan la relación entre tecnología y competitividad desde una perspectiva regional o sectorial. Destacan los análisis en torno a la gestión tecnológica de corporativos multinacionales que operan en México, y los referidos a la trayectoria tecnológica seguida en la industria automotriz, medular en el sector manufacturero. Se incluye también uno que discute la inversión en capital humano, como condición necesaria para promover la competitividad y el crecimiento económico. Estas reflexiones refuerzan su pertinencia y relevancia en los estudios de casos relativos a experiencias registradas en Sonora, que dan cuenta de cómo se incrementa el potencial competitivo para las firmas innovadoras cuando se vinculan con instituciones académicas y centros de investigación.

El texto está organizado en dos partes, la primera, titulada Estrategias, trayectorias y diversidad tecnológica: evidencia regional y sectorial, se compone de cuatro ensayos que combinan la reflexión teórico-metodológica con apreciaciones empíricas que, como se ha señalado, van desde la perspectiva territorial hasta la sectorial. Abre la sección el trabajo de Jorge Carrillo Viveros “Las multinacionales en México. Multiplicidad de opciones en el desarrollo de sus estrategias tecnológicas”, donde el autor explora las estrategias tecnológicas desarrolladas por los corporativos multinacionales (CMN) con presencia en México, independientemente de su origen. Para ello aplica un cuestionario en las firmas transnacionales ubicadas en el país, representativas de distintos sectores productivos. Carrillo advierte sobre la importancia de tener un enfoque más comprensivo de las estrategias tecnológicas seguidas por las transnacionales pues, por tradición, la cuestión tecnológica se relaciona con maquinaria y equipo, sistemas tecnológicos y tecnología en producto. Pero sostiene que esto es una idea sumamente restrictiva. Una estrategia tecnológica debe abarcar también tanto los modelos productivos aplicados, como los de negocios y las estrategias de mercado. El trabajo de campo, coordinado por el autor, le permitió arribar a conclusiones interesantes respecto a las decisiones en materia tecnológica tomadas por las transnacionales; al respecto, propone que es indispensable realizar un examen particular a fin de entender holísticamente las diversas alternativas practicadas por los CMN en México y otros países.

⁷ La competitividad depende de las ventajas productivas (pueden ser de costos, diferenciación de producto o por enfoque) y éstas a su vez dependen de las competencias de empresas y territorios; dichas competencias están estrechamente vinculadas al talento empresarial y a la capacidad de innovar. Es así que la innovación, como lo señala la OCDE, es un componente fundamental del escalamiento competitivo y un facilitador de los procesos de desarrollo y crecimiento endógeno (COLEF 2013).

En el segundo capítulo, “Desarrollo regional en México durante 2003-2011: polarización de la manufactura y diversificación de los servicios”, Jordy Micheli Thirión, a través de un enfoque espacial, observa cómo los servicios constituyen una actividad tecnológicamente moderna. Señala que la literatura especializada no le ha dado mucha importancia a esta característica, ya que el interés de los expertos se ha centrado en ramas que por tradición son portadoras del avance tecnológico, como la industria automotriz y aeroespacial, que se han relocalizado hacia otras regiones, en el norte de México.

Basado en modelos econométricos y con el uso de indicadores básicos de la economía regional, Micheli Thirión muestra que los servicios exhiben una dinámica propia de las industrias de base tecnológica. El ensayo aborda los vínculos que tienen lugar entre la actividad manufacturera y el sector servicios; a su juicio, esta interacción expresa los nuevos senderos por los que transita el desarrollo económico en la actualidad. Esta articulación ha hecho que en varias entidades, tipificadas como economías dinámicas, se repliquen las características de las viejas economías de enclave pues están estrechamente ligadas al mercado externo, en especial al norteamericano. En ese sentido, llama la atención que los servicios reflejen esta misma orientación pues, como se afirmó, están ligados a industrias o firmas exportadoras. En suma, parece ineludible que los servicios formen parte del sendero que seguirá en el futuro el desarrollo local, lo que representaría un salto cualitativo en la agenda de los gobiernos regionales en materia de fomento económico, pues habitualmente el sector manufacturero ha concentrado el esfuerzo gubernamental en esa asignatura.

Arturo Lara Rivero, en “De sistema mecánico a sistema tecnológico complejo: el caso de los automóviles”, describe puntualmente las trayectorias tecnológicas mundiales de la industria automotriz; hace notar sus cambios profundos en la cual los sistemas electrónicos están desplazando a los mecánicos, como la parte medular del automóvil. Destaca cómo la evolución tecnológica enfrenta múltiples obstáculos entre los cuales sobresalen los de tipo institucional, que inhiben el escalamiento potencial de la industria en general.

Cierra esta sección el artículo de Giovanna Valenti Nigrini y María Elena Pérez Campuzano, “Formación y aprovechamiento de recursos humanos para la innovación en México”, en el que las autoras analizan la formación de recursos humanos en cuanto a la educación formal y la capacitación en el trabajo, así como su aprovechamiento dentro de las empresas para el desarrollo o adopción de innovaciones tecnológicas.

El principal argumento utilizado es que la educación formal con frecuencia ha sido una variable sobredimensionada, respecto a su aporte al desarrollo de innovaciones y al crecimiento económico, como también lo es la capacitación en el trabajo. Para las autoras, a pesar de los esfuerzos realizados de manera individual en cada una de esas dimensiones, no logran tener una repercusión importante en el impulso o adopción de innovaciones tecnológicas en las empresas, aspecto que en la actualidad se reconoce como eje principal de los procesos de crecimiento económico en las regiones y países del mundo.

La segunda parte de esta compilación, titulada Sonora: experiencias de innovación y escalamiento competitivo, está integrada por tres ensayos que abordan procesos de escalamiento e innovación tecnológica, derivados de la interacción entre socios y proveedores o bien entre empresas e instituciones de educación superior locales. En el primero, de Nydia A. Valenzuela Básaca y Alvaro Bracamonte Sierra, “Microsistemas de innovación: parques tecnológicos en Sonora”, se discute el papel que están jugando los parques científicos que operan en Sonora en la creación de un ambiente propicio para la innovación y establecimiento de empresas de base tecnológica. Los autores sostienen que esta clase de infraestructura, esencial en los sistemas regionales de innovación, ha sido poco efectiva en la entidad. Esto se explica por la escasa promoción que exhiben y porque las firmas albergadas están operando, hasta ahora, por debajo de las expectativas previstas.

En el segundo, “Innovación biotecnológica: experiencias de I&D utilizando residuos de camarón”, Jaime López Cervantes y Dalia I. Sánchez Machado analizan el proceso de vinculación que debiera darse entre la academia y el mundo de los negocios, para aprovechar los resultados de la investigación científica en procesos de comercialización, mediante el establecimiento de empresas dedicadas a esa tarea. Analizan la biotecnología aplicada a los recursos marinos, que se inscribe en un ámbito emergente de la ciencia, cuyo avance es significativo en Sonora, una de las regiones pesqueras más importantes de México, donde destaca en particular la pesquería del camarón. Como señalan los autores, sólo una parte del crustáceo se utiliza para consumo humano; el resto se desecha. De acuerdo con los resultados obtenidos, los desperdicios se pueden emplear para muchos propósitos, lo que puede derivar en inversiones orientadas a comercializar tales residuos.

En resumen, el trabajo evidencia la forma en que hallazgos científicos pueden generar productos nuevos, una de las modalidades de la innovación y el escalamiento competitivo, en este caso en el sector pesquero del sur de Sonora, crucial para la economía de la entidad. Originalmente, este esfuerzo de vinculación permitió la fundación de Bioderpac S.A. de C.V., que después buscó una alianza con inversionistas noruegos para crear la firma internacional “Agrinos AS”, con sede en Noruega, que en la actualidad tiene presencia en más de doce países.

La sección cierra con un artículo que describe un caso de éxito en una empresa sonoreense. El ensayo “FANOSA: competitividad, desarrollo tecnológico y vinculación. Un caso de estudio”, de Alejandro Duarte Lucero, Juan Carlos Campoy Ross, Bernardo Chaparro Armenta y Rosana Méndez Barrón, documenta el proceso innovativo registrado por FANOSA con base en el aprovechamiento de materiales químicos como el poliestireno expandido. Los autores destacan el vínculo natural entre la industria química y el resto de las actividades económicas, donde pueden aplicarse potencialmente sus derivados. En ese sentido, hacen énfasis en la diversidad de servicios y productos que FANOSA ofrece, los cuales expresan el proceso de diversificación del uso del poliestireno. El texto subraya que dicho escalamiento competitivo fue posible gracias a las alianzas estratégicas gestionadas con las instituciones de educación superior, apoyadas a su vez por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, lo que ha permitido una vinculación fluida empresa-academia y la formación de sus propios ingenieros y técnicos especializados.

El escalamiento de FANOSA es el típico ejemplo de un proceso de evolución tecnológica enraizado en la imitación, ya que los propietarios primero acudieron a la importación de equipo sofisticado y después promovieron el aprendizaje y adaptación de la tecnología a las necesidades de la firma y del mercado objetivo. Esta estrategia ha hecho de FANOSA una empresa bien dotada en términos tecnológicos, lo que se expresa en estándares competitivos obtenidos en un mercado brutaemente disputado, como señalan los autores.

De esta manera, el conjunto de ensayos que ofrece esta obra busca contribuir a la discusión en torno al rol central de la tecnología en el proceso de escalamiento competitivo de las empresas y las regiones; al mismo tiempo, que incidir en la agenda de las autoridades locales responsables de los asuntos vinculados a la conformación de un tejido productivo dinámico. Esperamos haber conseguido el objetivo con las reflexiones adelantadas en el coloquio mencionado, y ahora con esta selección de trabajos especializados.

BIBLIOGRAFÍA

- Bracamonte, Alvaro y Rosana Méndez. 2005. Elementos básicos de competitividad. Reseña metodológica, mimeo.
- COLEF. 2013. Sonora: ecosistema de innovación, mimeo.
- Esser, Klaus, Wolfgang Hillebrand, Dirk Messner y Jörg Mayer-Stamer. 1994. Competitividad sistémica. En *Competitividad internacional de las empresas y políticas requeridas*. Alemania: Instituto Alemán del Desarrollo.
- Fajnzylber, Fernando. 1998. Competitividad internacional: evolución y lecciones. *Revista de la CEPAL* 36, Santiago de Chile.
- Francés, Antonio. 2006. *Estrategias y planes para la empresa. Con el gráfico de mando integral*. México: Pearson-Prentice Hall.
- Lundvall, B. A. 1992. *National Innovation Systems: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Londres: Pinter Publishers.
- Muñoz Jiménez, Fabio. 2013. El recurso humano en las empresas. Curso por internet. www.mailxmail.com
- Nelson, Richard y Sidney G. Winter. 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge: Harvard University Press.
- OCDE. 2001. Special Issue on Fostering High-tech Spin-offs: A Public Strategy for Innovation. *sti Review* 26. París: OCDE.
- Oslo Manual. 2006. *Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data*. OCDE.
- Porter, Michel. 1991. *Las ventajas competitivas de las naciones*. España: Editorial Vergara.
- Rodríguez Combeller, Carlos. 1999. *El nuevo escenario. La cultura de calidad y productividad en las empresas*. México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Schumpeter, Joseph. 1983. *Capitalismo, socialismo y democracia*. Barcelona: Editorial Orbis.

PARTE I

ESTRATEGIAS, TRAYECTORIAS Y DIVERSIDAD TECNOLÓGICA: EVIDENCIA REGIONAL Y SECTORIAL

LAS MULTINACIONALES EN MÉXICO.

MULTIPLICIDAD DE OPCIONES

EN EL DESARROLLO DE SUS ESTRATEGIAS TECNOLÓGICAS

Jorge Carrillo Viveros¹

INTRODUCCIÓN

La globalización, dirigida por las empresas multinacionales (EMN) está produciendo cambios que repercuten en las áreas de negocios, la estrategia corporativa, las finanzas, las formas de organización, las concepciones del liderazgo y en el mundo del trabajo (Ohmae 2005; Galbratith 1967). Los ingresos conjuntos que alcanzaron en 2006 fueron superiores al producto interno bruto (PIB) de toda la Unión Europea o de Estados Unidos. En relación con el conjunto del PIB mundial, en una década (1996-2006) pasaron de 38 a 43 por ciento (Sánchez 2008). La importancia de las multinacionales es tan grande que es necesario evaluarlas constantemente y revisar sus estrategias.

Con respecto a las estrategias que adoptan las EMN, se puede pensar, por ejemplo, en las opciones que eligen para decidir el tipo de maquinaria, equipo, sistemas tecnológicos y de recursos humanos que implementarán, o dónde se establecerán. Pero, si se ve de manera más comprensiva, se deberían incluir también otras variables y algunas perspectivas holísticas, como los modelos productivos (Boyer y Freyseneet 2001; Freysenet 2009; Julien y Pardi 2013), los de negocio (Flery y Fleury 2011; Osterwalder y Pignur 2010), las estrategias de inversión (Cantwell y Narula 2001; Dunning 1993, 1998 y 2013; Dunning y Sarianna 2008) o la trayectoria de la firma (Kogurt y Zander 1993). A partir de la literatura especializada se puede mencionar que las estrategias no se definen de la misma manera y de forma única, y que muchos de los instrumentos que deciden implementar (una máquina, Computer Numerical Control, la introducción de círculos de calidad o el mejoramiento continuo, un Enterprise Resource Planning, etcétera) están insertos en métodos o modelos más generales, que incluyen desde luego al individuo (empresario, gerente o directivo), que toma decisiones económicas no personales (Clemence 2009; Barnet y Muller 1976; Schumpeter 1949).

Por ello, son dos los objetivos de este ensayo, uno general, que es destacar algunas dimensiones asociadas con las “grandes estrategias” por las que optan las empresas multinacionales, y otro particular que es demostrar que son diversas y de índole muy diferente y, por supuesto, que hay varias opciones dentro de cada una. En otras palabras, se trata de presentar elementos que muestren que la toma de decisiones que realizan las propias empresas no es algo definido por los corporativos y de manera estática, sino que se toman en sistemas abiertos y dinámicos, desde luego con ciertos parámetros (Perlmutter 1969). Dicho de otra

¹ Profesor-investigador del Centro de Estudios Sociales de El Colegio de la Frontera Norte (COLEF). Correo electrónico: carrillo@colef.mx. El autor desea agradecer los comentarios críticos y propositivos de los dictaminadores anónimos, que permitieron mejorar sustantivamente este trabajo.

manera, las estrategias de las multinacionales son variadas y complejas y, según la suma de ellas y sus implementaciones particulares, existen empresas concretas que influyen de manera muy diversa en las regiones, su gente y en el país en su conjunto.

Vernon (1980) menciona que la estrategia de expansión en las EMN sigue dos posibles caminos, en función de sus capacidades y necesidades: establecer una subsidiaria en un país extranjero, desde sus cimientos, o adquirir una en funcionamiento. Trajtenberg (1985) señala que grandes y pequeñas multinacionales buscan internacionalizar sus actividades. Al respecto, Berger (2006) y Patel y Vega (1999) destacan que una táctica fundamental de supervivencia es producir en casa, externalizar o producir afuera. Abo (2007 y 1994), al analizar los trasplantes japoneses a lo largo del mundo, concluye que las mejores prácticas organizacionales, asociadas al sistema de producción y gerencia japonés, varían en función de la adaptación a los contextos locales y la adopción de las estrategias de firma. Cantwell (1995) y Cantwell y Mudambi (2000) señalan como una de ellas a la internacionalización, no sólo de las actividades de baja calificación sino de las de investigación y desarrollo (I+D). Ohmae (2005 y 1990) cita distintos tipos de incrustación en los países donde se establecen. Trabajos como el Kristensen y Zeitlin (2005) demuestran que las estrategias de los corporativos de las multinacionales pueden estar ampliamente influidas por las comunidades locales a las que pertenecen las subsidiarias, en función de la habilidad de los actores locales y no de manera unilateral por lo que dictan los corporativos. Jullien y Pardi (2013) mencionan los cambios en la reconfiguración política del centro y la periferia a escala mundial, y añaden que las trayectorias de firma buscan constantemente mejores opciones derivadas de un contexto cambiante e incierto.

La literatura sobre multinacionales es muy amplia y diversa, y no es el objetivo de este ensayo exponer un estado del arte sobre ellas y sus estrategias, sino presentar esta complejidad a partir de varios autores y de algunos estudios. Las estrategias de las EMN son diversas, y se basan en las opciones enmarcadas en configuraciones de sistemas abiertos. Para entender mejor esta diversidad, aquí se describen cinco identificadas como relevantes: a) mercado, b) tecnología de producto, c) tecnología de proceso, d) localización y e) modelo de inserción en el país receptor.

Primero, es preciso definir lo que es la estrategia y las multinacionales; conceptos clave que se utilizarán a lo largo de este ensayo. La primera consiste en métodos usados para hacer algo; en cuanto a las EMN, se trata principalmente de organismos que buscan la competitividad y, en el caso mexicano, las ganancias y reducción de costos (Carrillo 2013). Una práctica empresarial es la búsqueda deliberada de un plan de acción que desarrolle la ventaja competitiva de una empresa y la acentúe, de forma que logre crecer y expandir su mercado reduciendo la competencia, además de articular sus potencialidades de forma que la acción coordinada y complementaria de todos sus componentes contribuya al logro de objetivos definidos y alcanzables. Fleury y Fleury (2011), por ejemplo, identifican nueve competencias genéricas, asociadas a las estrategias que puede elegir una multinacional en función de los *inputs* y del mercado: cadena de suministro, recursos humanos, producción, tecnología, comercio, organización, planeación, gerencia de recursos financieros y relaciones con el cliente.

Por su parte, las multinacionales se han definido de maneras muy diversas; en primer término, son el fruto de un proceso histórico generalizado de diversificación geográfica de las grandes compañías de los países desarrollados hacia otros que también lo son o hacia los subdesarrollados. Omaha (1990) menciona que el fenómeno de la globalización es una forma de gestión integrada a escala mundial de la gran empresa multinacional y, en ese sentido, la economía global es una realidad y no una teoría, que rebasa las fronteras de la economía y es algo más que el análisis del entorno. De acuerdo con Dunning (1971, 17), “la empresa internacional tiene por objetivo actividades domésticas, aun cuando luego aparezca relacionada con el comercio internacional a través de exportaciones, en tanto que la empresa multinacional tiene por objeto actividades (productivas) realizadas directamente en varios países”. Para la Conferencia en Comercio y Desarrollo de las Naciones Unidas (UNCTAD, por sus siglas en inglés) las corporaciones transnacionales son:

[...] empresas incorporadas o no incorporadas que comprende las empresas matriz y sus filiales extranjeras. Una empresa matriz se define como una empresa que controla los activos de otras entidades en países fuera de su país de origen, (generalmente por poseer una cierta participación accionaria de capital). Una filial extranjera es una empresa incorporada o no incorporada en el cual un inversionista, quien es residente en otra economía, posee una participación lo que permite tener un interés duradero en la gerencia de esa empresa [...] (2012, 3).

Una definición de EMN ampliamente utilizada, que proviene de una organización no gubernamental, es la siguiente:

Una empresa (o grupo de empresas), constituida por una sociedad matriz de conformidad con la legislación de un país que, a partir de su sede o centro de decisión se implanta e implanta en el extranjero sus filiales mediante inversiones directas (fusión, privatización y adquisiciones), con una estrategia concebida a nivel mundial, encaminada a barrer todo obstáculo a la expansión y al libre movimiento [...] (Organización de las Naciones Unidas, ONU 2002).

Los organismos internacionales como la ONU, las organizaciones Internacional del Trabajo y para la Cooperación y Desarrollo Económicos dejan por sentado que su finalidad no es proponer una definición de la empresa multinacional, aunque siguen en su búsqueda. En tanto, sí están orientando sus esfuerzos hacia la construcción y promoción de un marco regulatorio internacional para sus operaciones (Alcalá et al. 2012). A continuación se presentan las cinco estrategias mencionadas. En cada una se expone una discusión muy breve y algunos resultados de investigación sobre México, elaborados a partir de estudios donde el autor de este texto ha participado, con el fin de comprender las múltiples decisiones que tomaron las empresas para estar donde se encuentran en la actualidad.

ESTRATEGIA DE MERCADO:

¿EXPORTAR O VENDER AL MERCADO INTERNO?

Prácticamente desde sus inicios, la búsqueda de mercados domésticos o en otros países, para los bienes o servicios que ofrecen las multinacionales, ha sido crucial en sus estrategias. Pero las inversiones también han estado motivadas por factores como la búsqueda de minerales y recursos energéticos, la de mano de obra de alta calificación o intensiva en conocimientos, o bien la no calificada y de bajo costo.

El análisis sobre las estrategias de mercado y de los determinantes de la inversión en las EMN ha derivado en varias clasificaciones; John Dunning es uno de los autores más citados al respecto. A partir del trabajo de Berhman (1972), Dunning (1993; 1998 y 2013) identifica cuatro específicas, como los principales determinantes de las actividades de inversión extranjera directa, realizadas por las EMN en un país en particular:

- *Las buscadoras de recursos naturales.* Las empresas que siguen este camino pretenden invertir en los países que cuentan con recursos naturales específicos, ya sea porque no los tienen en su país de origen, o por acceder a ellos a un costo menor en el lugar donde realizan la inversión.
- *Las buscadoras de mercados.* Son las que invierten en países o regiones con el propósito de ofertar sus bienes y servicios en esos mercados, o en los de países adyacentes.

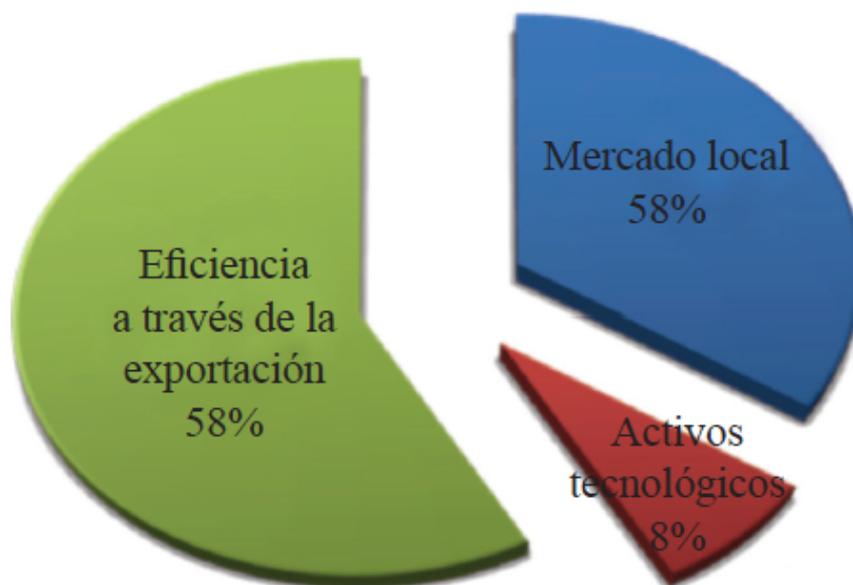
- *Las buscadoras de eficiencia para la exportación.* Son las que pretenden racionalizar la estructura de los recursos establecidos, con base en la búsqueda de mercados, a través de ganancias derivadas de una gobernanza común o actividades geofiguramente determinadas como economías de escala, de alcance, de aglomeración, así como la diversificación del riesgo.
- *Las buscadoras de activos estratégicos o activos tecnológicos.* Las que siguen este tipo de inversión se presentan por medio de la adquisición o fusión con otras EMN para añadir un portafolio de activos, que son percibidos como determinantes para mantener o incrementar la competitividad internacional.

Esta tipología la han utilizado organismos internacionales como la UNCTAD, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe y el Banco Interamericano de Desarrollo, así como diversos analistas como Mortimore y Vergara (2007); Giuliani et al. (2005); Lall (1993) y Mortimore (2006a), entre otros. En el caso de México, este último ha sido uno de los principales. A partir de sus estudios sobre los sectores productivos en América Latina, concluye que la estrategia más empleada en México es la búsqueda de eficiencia a través de las exportaciones, y recomienda tener cuidado ya que es la más frágil debido a que tiene muchos problemas asociados (están atrapadas en actividades de bajo valor agregado, en eslabonamientos productivos truncados y *race to the bottom* en costos productivos, etcétera) Mortimore (2006b). A través de ejemplos de casos de sectores (con amplia participación de EMN), muestra que las inversiones en agroindustria, alimentos, bebidas, tabaco, finanzas y comercio al menudeo se enfocan en el mercado interno. Mientras que la industria automotriz, de electrónica y la de ropa van en pos de la eficiencia vía las exportaciones. Por su parte, las inversiones en turismo buscan los recursos naturales (Mortimore y Vergara 2007). En ocasiones este análisis se acompaña con la identificación de las principales firmas que siguen estas estrategias.

En el COLEF se realizó el estudio “Firmas multinacionales en México: un estudio sobre la estructura organizacional, la innovación y las prácticas de empleo”, basado en una encuesta a EMN (Carrillo 2013). Como parte de la metodología, primero se creó un directorio de firmas en donde se identificó a más de 2 600 multinacionales que supuestamente operan en México en todos los sectores (excepto recursos naturales) y que son de diversos países, incluso las mexicanas. Después se aplicó un censo telefónico a todas ellas, y se obtuvo una respuesta positiva en 923. A partir de esta muestra y de las respuestas, se cuantificó, por primera vez en México, la tipología propuesta por Dunning (1993; 1998 y 2013) y desarrollada por Mortimore (2006a y 2006b), entre otros.

Con base en ese estudio se encontró que la estrategia de inversión de 58 por ciento de las firmas multinacionales establecidas en México es lograr la eficiencia a través de la exportación; una importante porción de ellas, 34 por ciento, busca el mercado local; y un porcentaje reducido, pero relevante de 8 sustenta una estrategia en favor de los activos tecnológicos (véase [figura 1](#)). Como entre las encuestadas no había una del sector primario, en los resultados mostrados desaparece la estrategia orientada a la búsqueda de recursos naturales. Los resultados son consistentes con los derivados de la encuesta cara-a-cara, con directivos de recursos humanos de las EMN (Carrillo 2013). Este mismo estudio, basado en una encuesta que representa a 922 multinacionales, encuentra que independientemente de que buena parte de ellas sea global, su alcance basado en las ventas está orientado, sobre todo, al mercado regional (53.8 por ciento), esto es al de Estados Unidos y Canadá, y en menor medida al mexicano (39.3); sorprende que sólo 6.9 por ciento en realidad se oriente al global, y atienda a diversos mercados en el mundo.

Figura 1
Estrategias de inversión
de las empresas multinacionales en México



Fuente: Carrillo y Gomis (2011).

Estos resultados muestran, en primer lugar, que las estrategias de inversión de las EMN en México son diversas, en segundo, que su intención no sólo es utilizar a este país para exportar a Estados Unidos, como en general se argumenta. Alrededor de 40 por ciento de las firmas se han localizado en México por su mercado y otras, las menos, por activos tecnológicos (capacidades por lo general asociadas con mente de obra). En tercer lugar, y a partir de un análisis estadístico con la misma base de datos, fue posible asociar variables estructurales con las estrategias de inversión. Las compañías extranjeras de manufactura que tienen una sola planta (que funcionan como unidades independientes y no están organizadas en red), por lo común tienden a desarrollar más la eficiencia para la exportación que la de mercado local o de desarrollo de activos tecnológicos. Por el contrario, las multinacionales mexicanas de servicios y organizadas en red tienden a favorecer estrategias de mercado local. Esto mismo encontraron Basave y Gutiérrez Haces (2013) en situaciones de crisis económica, en las que las multinacionales mexicanas orientadas a los mercados internos salieron favorecidas. El tamaño de la empresa en función del volumen de empleo es un factor que no parece influir en su estrategia de mercado. Y, en términos generales, sólo las EMN de servicios se inclinan más por los activos tecnológicos. En orden jerárquico, en la estrategia de inversión pesa más la forma de organización de su empresa y la independencia de sus unidades, luego el país de origen y en tercer lugar el sector de operación (Carrillo y Gomis 2011).

No obstante los resultados anteriores, es importante mencionar que no se trata de estrategias estáticas ni puras. Con base en observaciones de trabajo de campo a lo largo de varios años en multinacionales en México y en el extranjero, se puede afirmar que hay una cierta mezcla en las estrategias descritas antes, y que se modifican en el tiempo. Es decir, algunas empresas pudieron localizarse por el mercado doméstico, pero luego decidieron cambiar de táctica a la de exportación o viceversa. Asimismo, pueden seguir estrategias mixtas o mezcladas en sus unidades de negocio. Como señalaron hace varias décadas Barnett y Muler (1976) y Vernon (1966), las estrategias de mercado de las multinacionales son dinámicas y están en función del ciclo de

vida del producto; y se podría añadir que también lo están en sus capacidades organizacionales y nicho de actividad, como se desprende de los resultados o de las competencias genéricas, en términos de Fleury y Fleury (2011).

ESTRATEGIA DE TECNOLOGÍA DE PRODUCTO:
¿AUTOMATIZAR, DIGITALIZAR O MANUALIZAR?

La gran competencia en el mercado global ha hecho que las EMN compitan en el desarrollo tecnológico, en particular el del producto o servicio, añadiendo características diferentes (*features*) (véase por ejemplo la que hay entre Apple y Samsung en los iPhones), en el diseño de productos nuevos de la misma familia (en las tabletas en la industria electrónica o en los vehículos deportivos utilitarios o (SUV, por sus siglas en inglés) en la del automóvil, o en la creación de productos radicalmente innovadores (las terminales eólicas en el sector energético o los autos eléctricos). La tecnología de producto/servicio es parte crucial en las estrategias de las empresas.

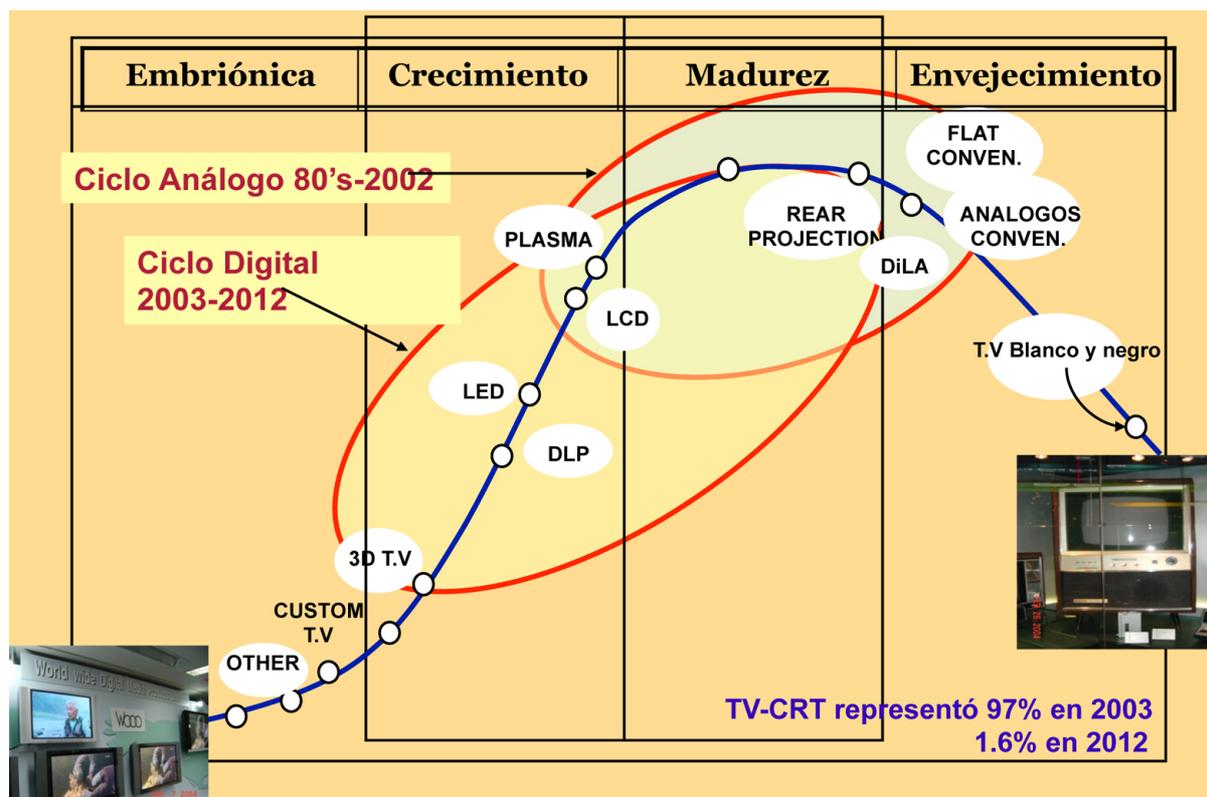
En la búsqueda por mejorar la eficiencia de los procesos productivos y ser más competitivas, las empresas han implementado la automatización; las nuevas tecnologías “duras” en México comenzaron en 1980. Diversos estudios (Lara 1997; Carrillo 1993; Micheli 1991 y Arteaga 1990, entre otros) han demostrado que ciertos procesos fueron automatizados completamente, como la inserción de *chips* en la industria electrónica y la soldadura y pintura en la automotriz. Pero otros continúan siendo manuales (la “vestidura” de los motores y varios sistemas y módulos, los arneses, etcétera); lo que ha cambiado son los instrumentos y equipos de apoyo (eléctricos, electrónicos y digitales). Más aún, hay procesos que no se han automatizado y regresaron a ser manuales, por ejemplo en el ramo de autopartes.

La tecnología de producto se puede definir como “el conocimiento de las características y especificaciones de un producto o servicio diseñado de conformidad con las necesidades de los procesos de manufactura y del mercado. La tecnología específica para la fabricación del producto/servicio, su método, procedimiento, especificaciones de diseño, de materiales, de estándares y de mano de obra” (<http://www.monografias.com>). En este sentido, los métodos para desarrollar tecnología de producto pueden ser muy variados. Esto se muestra a través de la industria de los aparatos de televisión, que tiene una enorme importancia, y grandes implicaciones en las estrategias de las EMN en México.

El producto televisor, como se conoce hoy en día, es desarrollado en la industria manufacturera del televisor, y se ha transformado de manera radical con la sustitución de la tecnología análoga por la digital. El ciclo de vida del televisor blanco y negro residencial llegó a su fin, después el análogo a color, que se desarrolló durante la segunda mitad del siglo pasado, también entró en su fase de envejecimiento a principios del nuevo milenio, al igual que el de proyección con pantalla grande. Desde el inicio de la década pasada los televisores digitales son la principal tecnología que ofrece el mercado en un gran número de países; los de plasma, LCD (*liquid cristal display*), LED (*light-emitting diode*) y de 3D, conocida en términos genéricos como FPD (*flat panel display*), se encuentra en su fase de crecimiento y madurez. También existen desarrollos de nuevas tecnologías de producto que darán lugar a otros aparatos como el 4K (véase [figura 2](#)).

La tecnología análoga implica impulsos eléctricos e integra a los tubos de rayos catódicos (CRT, por sus siglas en inglés) o cinescopio; la tecnología digital se encuentra en la electrónica e implica tarjetas impresas con circuitos minúsculos y la radiodifusión en formato digital. La [figura 2](#) muestra el avance de las tecnologías de producto en la industria de los aparatos de televisión.

Figura 2
Tecnología de producto y ciclo de vida. Industria del televisor



Fuente: De los Santos y Elías (2007); actualización de Carrillo (2013)

A principios de la década pasada, en el COLEF se realizó un estudio sobre el cambio tecnológico en la industria del televisor en Baja California y sus implicaciones en la calificación de sus empleados (Hualde y Carrillo 2007). Un estudio en proceso (Brito 2013) y entrevistas recientes efectuadas por el autor permiten observar las siguientes transformaciones ocurridas en las estrategias de las multinacionales. Si bien todas las fabricantes de televisores en Baja California cambiaron de tecnología, no lo hicieron de la misma manera. La JVC de Tijuana optó por una tecnología intermedia (Dhila); Sharp decidió embarcarse por la digital, pero integró la fabricación del panel en su planta de Rosarito, y Sony decidió incorporar la digital con departamentos de I+D y de sistemas, pero sin fabricar el panel. Sólo Sharp escogió un proceso de integración vertical, al integrar la fabricación del panel (que por varios años fue la única en todo el continente americano con esta capacidad tecnológica).

La [figura 3](#) permite comprender que, a pesar de tratarse de la misma industria (electrónica), y producto (aparatos de televisión), del mismo país de origen (Japón) y territorio (Baja California), las estrategias de tecnología de producto variaron en cada firma. Y esta decisión tuvo implicaciones fundamentales en el devenir de cada una y también del sector, en la región bajacaliforniana.

De acuerdo con Hualde, en el caso planteado de la industria del televisor en Baja California, el cambio en la tecnología tiene tres significados: a) variación en los productos fabricados, b) indefinición en las tecnologías predominantes en relación con el producto (la de las pantallas) y c) diversificación de los mercados hacia los cuales se dirigen los productos. Él concluye que “esta pluralidad de situaciones y estrategias se relaciona con las posibilidades que las empresas ven en la región, con las estrategias de los

corporativos a escala global y con las características y trayectorias de las propias plantas establecidas en las localidades” (2007, 86). Es decir, la estrategia utilizada por cada empresa multinacional depende de una diversidad de factores, aun tratándose del mismo producto, la región y el país de origen, como se vio antes. El cambio de lo análogo a lo digital tuvo una repercusión radical en términos de la supervivencia de las empresas, pero aún se encuentra en reestructuración; las japonesas de equipo original (OEM, por sus siglas en inglés) están siendo sustituidas por las empresas de contrato (EMS, por sus siglas en inglés) taiwanesas y chinas. Es decir, se presencia un cambio de modelo de negocio (OEM a EMS) el cual puede perjudicar tanto a la cadena de proveedores, al reducir el volumen de empresas y empleo, como a las capacidades de las firmas, al simplificar sus actividades y pasar de una organización basada en la integración vertical y semivertical al ensamble simple (el regreso a la maquila de primera y segunda generación) Carrillo y Lara (2005).

Figura 3
Estrategias tecnológicas en multinacionales
del televisor en Baja California

Firma	2000 Productos principales	2013 Productos principales	Capacidades e implicaciones
Panasonic	CRT/PTV	LCD/LED	Semiintegración vertical ensamble y subensambles Producción 50% menor
Sanyo	CRT	LCD/LED	Ensamble y subensambles Walmart único cliente Producción 30% menor
Hitachi	CRT/PTV/LCD	---	Semiintegración vertical ensamble y subensambles Cierre en 2009
JVC	CRT/DHILA	---	Ensamble Cierre en 2010
Sony	CRT/LCD	---	Ensamble y subensambles I+D y sistemas Vendida a FoxConn en 2010 Regreso del I+D a Japón
Sharp	CRT	LCD/LED	Integración vertical (ensamble, subensambles y producción del panel) Aumento de la producción (xxx)

Fuente: elaboración propia, con base en Carrillo y Hualde (2007); Brito (2013).

ESTRATEGIA DE TECNOLOGÍA DEL PROCESO:
¿JAPONIZAR, AMERICANIZAR, ESCALAR?

Las multinacionales también optan por distintas estrategias de tecnología del proceso. Aquí la principal es la selección de cierto tipo de organización del trabajo e industrial, es decir, la de la división del trabajo interna y del espacio dentro de las empresas, la implementación de las mejores prácticas organizacionales, tipo de

relaciones laborales, así como el trato con los proveedores. En función de las estrategias de ganancia, todo ello conforma lo que se ha denominado un modelo productivo (Boyer y Freyssenet 2001).

Por ello, una de las tácticas más comprensivas que pueden adoptar las multinacionales es la selección del modelo productivo que van a poner en práctica y de la dinámica a seguir para elevar sus capacidades. A partir del análisis de la industria automotriz a escala mundial, se detectaron dos modelos productivos extremos, el fordismo (basado en la integración vertical, la parcialización extrema del trabajo, la cadena automática y la formación de fuertes sindicatos) y el sistema de producción y gerencia japonés, denominado también toyotismo (basado en la calidad total, el justo a tiempo, el mejoramiento continuo y la auto activación, para evitar o solucionar problemas (de máquinas y personas), así como un sistema con proveedores organizados en forma jerárquica. Y, aunque el plan de ganancia en ambos es la reducción de costos, una característica que los distingue es la producción y consumo masivo basado en *push-factors* en el fordismo, y la producción flexible de acuerdo a las necesidades del mercado en el toyotismo (Abo 1994 y 2007; Coriat 1993; Fleury y Huumphrey 1993; Fujimoto 2007; Dhose et al. 1986). Como se ha revelado ampliamente en la literatura, la Toyota logró revertir el modelo fordista-taylorista a través de una nueva filosofía y un conjunto de métodos, que dieron paso a las muy difundidas mejores prácticas organizacionales dentro de la empresa y con sus proveedores (Itagaki 1997). La difusión de este modelo ha alcanzado a industrias muy diferentes, además de la automotriz, pero también al sector de los servicios e incluso a los gobiernos y universidades.

Si bien desde la década de 1990 ha habido una clara tendencia a la adopción del sistema japonés en el ramo automotriz (Abo 2007; Fujimoto 2007; Itagaki 1997), la manera de integrarlo en cada empresa varía sustantivamente, para resultar en diversas mezclas (Abo 2007). Ello ha llevado al desarrollo de un modelo contrastante entre la aplicación (implementación completa del sistema japonés según el modelo Toyota) y la adaptación (la “tropicalización” a los contextos donde se ubican las empresas). Estudios como los del grupo de Tetsuo Abo (1994 y 2007) han demostrado, con base en entrevistas en más de 500 EMN en los cinco continentes, que la hibridación, y no el “modelo puro”, es la forma más común de incorporar el sistema de producción y gerencia japonés. En otras palabras, la estrategia de tecnología del proceso es diferente según la industria y la empresa de que se trate, y el contexto de ubicación de las multinacionales cuyo resultado son modelos productivos exitosos (seis en el caso automotriz de acuerdo con Boyer y Freyssenet (2001), y muchas configuraciones socio-técnicas diferentes.

En cuanto al desarrollo de las capacidades de las multinacionales y la táctica de escalamiento, asociada a la tecnología del proceso, varios estudios han mostrado la diversidad existente intra e intersectorial en las grandes empresas en México (Pozas 2007; Dutrenit et al. 2006; Domínguez y Brown 2004; Lara 2000 y 2001; Basave y Gutiérrez Haces 2013). Por su parte, el COLEF, a partir de estudios cuantitativos y cualitativos sobre las maquiladoras, logró conformar una tipología de empresas de manufactura multinacionales exportadoras, que permite observar el escalamiento industrial (Carrillo y Lara 2005). Esta tipología señala que las estrategias tecnológicas por las que optan las EMN y sus proveedores resultan en una heterogeneidad estructural, lo cual es el reflejo de una importante complejidad derivada de sus capacidades, ciclos de vida y las trayectorias específicas.

Estudios en el COLEF sobre la industria maquiladora de exportación, constituida por compañías multinacionales a partir de los años noventa, han demostrado que existe un proceso de escalamiento para ser mejores y más competitivas (Giuliani et al. 2005), y que es el resultado de decisiones estratégicas específicas para enfrentar la intensa competitividad por el mercado. Se identificaron cuatro tipos o generaciones de empresas, con base en estudios sobre maquiladoras electrónicas, automotrices y de ropa en el norte de México (Carrillo y Ramírez 1997; Carrillo y Hualde 1998; Carrillo y Gomis 2005; Carrillo y

Lara 2005), que son los siguientes: a) la de primera generación, basada en la intensificación del trabajo manual y el montaje simple (“ensamblado en México”); b) la de segunda, basada en la racionalización del trabajo, la manufactura y la adopción de nuevas tecnologías de proceso (“hecho en México”); c) la de tercera, basada en la intensificación del conocimiento y en las actividades de investigación, desarrollo y diseño (“creado en México”) y d) la de cuarta, basada en la coordinación centralizada de actividades tanto para el conjunto de unidades localizadas en el país, pertenecientes a la misma firma, o incluso allende la frontera (“coordinado en México”).

Si bien una generación puede predominar en un cierto periodo, lo importante es que: a) coexisten empresas de distintas generaciones en un mismo tiempo, b) en general, el momento en que aparecen, se desenvuelven y maduran, es diferente en cada una y c) en cada una, como sería de esperarse, hay también cierta diversidad. Es decir, toman decisiones estratégicas y marcan diferencias sustantivas.

Como ejemplo de lo anterior se pueden destacar dos sectores que muestran la evolución que van tomando firmas particulares, y la heterogeneidad de ellas en un mismo sector. De nuevo, la industria automotriz ilustra bien el escalamiento dentro de las firmas. De acuerdo con Carrillo y Ramírez (1997), compañías como Delphi iniciaron su producción con procesos intensivos en mano de obra y de ensamble tradicional de arneses; después se construyeron plantas de manufactura para fabricar radiadores, mofles y otras partes para el motor con tecnología avanzada, y poniendo en marcha prácticas del sistema justo-a-tiempo y control total de la calidad; por último, se abrió un centro técnico, en Ciudad Juárez, que empleaba a 800 ingenieros y pasó a más de tres mil profesionistas, la mitad de ellos laboraba en funciones de corporativo regional y la otra en proyectos de I+D (Carrillo y Lara 2005). Ejemplos como este se pueden encontrar en ramos en México: Samsung en la electrónica, Honeywell en la aeroespacial, Medtronic en productos médicos y Scantibodies en la biotecnología, por citar sólo algunos.

Acercas de la heterogeneidad entre las empresas dentro de un sector, se puede observar el caso de la industria aeroespacial. Un estudio realizado por el COLEF identificó tres tipos: a) la planta ensambladora especializada en un mismo producto, que no necesita de personal calificado; b) la planta manufacturera multi producto con diseño, donde se fabrica una amplia gama de partes y hay ingenieros que llevan a cabo actividades de diseño, existe una variedad de procesos y requiere personal calificado y c) el centro de excelencia en ingeniería, en donde el diseño es la capacidad técnica fundamental (Hualde y Carrillo 2007).

ESTRATEGIA DE LOCALIZACIÓN:

¿IN HOUSE O EXTERNALIZAR?, ¿QUEDARSE O MOVERSE?

La decisión de producir, realizar un servicio en casa o externalizarlo ha sido crucial para las empresas en los últimos 50 años (Berger 2006) que, según el fordismo, buscaron aumentar la integración vertical y producir todo lo posible en casa. Ford Motor Company es el ejemplo paradigmático de este modelo de integración hacia adentro (Lacey 1987). Las EMN automotrices empezaron primero a externalizar funciones muy marginales a su negocio (seguridad, limpieza, alimentos, entre otros), luego fueron trasladando tareas intensivas en mano de obra hacia otros países, pero conservando la propiedad y el control. Después este proceso se tornó complejo, hasta externalizar prácticamente todas las actividades en algunos casos, como ha sucedido en algunas compañías denominadas bandera (*flag companies*).

Sin embargo, la estrategia más socorrida por las multinacionales ha sido la subcontratación de un tercero (un proveedor), que puede realizar internamente (*in-house outsourcing*), afuera pero dentro del país (*outsourcing*) o en el extranjero (*offshore outsourcing*). Pero también pueden conservar la propiedad y el control, y trasladar operaciones dentro de la región, del país o hacia otras naciones, como ha sido el caso de muchas maquiladoras (Berger 2006). Se observa un fenómeno más reciente, el *re-shoring*, que consiste en el regreso de

operaciones *offshoring* a los lugares de origen (bien pueden ser actividades de ensamble, que regresan al lugar de donde salieron –por ejemplo Tijuana-China-Tijuana– o de I+D –por ejemplo Japón-Tijuana-Japón–) (García 2013).

Por lo general, la subcontratación se considera como un medio para reducir los costos de producción, que aumenta cuando las firmas, en especial las EMN, consideran que el *outsourcing* sería más rentable que la producción interna (*in-house production*) (Berger 2006). Después viene la decisión de a quién subcontratar: ¿a una empresa doméstica o a una de fuera?, a una que forme parte de las relaciones tradicionales en los países de origen del capital, o a una totalmente nueva, etcétera. En este proceso de incluir a otros proveedores cercanos, muchas veces las multinacionales no logran la integración local. Estudios realizados en el COLEF han demostrado que, por ejemplo, hay un conjunto de limitantes para integrar a los proveedores mexicanos a las maquiladoras electrónicas (por problemas en calidad, escala, precio o capacidad tecnológica), y en ese sentido han preferido contratar a los extranjeros (Carrillo y Zárate 2005). Pero, por otra parte, proveedores locales de servicios de alta tecnología han logrado integrarse a las redes globales dirigidas por las maquiladoras (Contreras y Carrillo 2012); esto es, las estrategias de las empresas pueden adaptarse a las condiciones locales. Otro elemento por considerar es la pertenencia de las compañías a redes globales y el rol que tienen en la cadena global de valor, lo que les brinda cierta capacidad en la toma de decisiones. A principios del nuevo milenio, otro estudio sobre las maquilas electrónicas en Baja California reveló mecanismos diferentes de integración; mientras que el complejo Samsung en Tijuana tiene una integración vertical importante, una filial era la encargada de tomar las decisiones para integrar proveedores (extranjeros o nacionales), y no la empresa más importante. En cambio, Hitachi podía efectuar acciones concretas para atraer proveedores extranjeros. Sony sobresalió por su eficaz política de desarrollo de proveedores mexicanos locales y nacionales. Se encontraron tres métodos de aprovisionamiento local: la integración vertical, el comercio entre maquiladoras y la subcontratación con proveedores locales. En conjunto, el peso de las empresas extranjeras dentro de estas estrategias fue abrumador. Por ejemplo, en el caso de una firma importante, 77 por ciento de las proveedoras en Tijuana era de capital extranjero (11 por ciento de otras multinacionales del televisor y 66 de proveedores extranjeros) y el restante 23 eran compañías mexicanas (Carrillo y Contreras 2005).

MODELO DE INSERCIÓN: ¿INTEGRACIÓN VERTICAL O MODELO MAQUILA?

En relación con su modelo de inserción, es conveniente considerar la existencia de estrategias de las EMN, por lo general de acuerdo con las fases de su proceso de internacionalización (Dicken 1998). Según este criterio, Ohmae (2005) distinguió tres:

- *La multinacional como subsidiaria.* En esta primera fase de la internacionalización, las firmas devienen en el país de localización en una especie de réplicas a escala reducida del corporativo situado en el de origen. En buena medida, las ganancias son internas, en función de mercados nacionales protegidos. En México, tal tipo correspondería a las firmas que se establecieron, principalmente, durante la época de la industrialización por sustitución de importaciones, como Ford y Volkswagen, en los años sesenta y setenta.
- *La multinacional como filial exportadora.* En esta segunda fase, las empresas internacionalizan la producción, a través del establecimiento de plantas para la exportación de productos y servicios. En México, a este tipo se le conoce como el *modelo de maquila*, iniciado en el norte a mediados de los años sesenta, aunque cobró auge 20 años después, y basa su competitividad en la reducción de los costos de producción, en especial el diferencial salarial con el país de origen de las compañías.

- *La multinacional como empresa global.* En esta tercera etapa se internacionalizan además funciones con alto valor agregado, como la I+D y los servicios posteriores a la venta; en su fase más completa, transfiere funciones del propio corporativo (Ohmae 2005). Este periodo corresponde al desarrollo de la empresa global; que en México se puede ejemplificar con las de tercera y cuarta generación (Carrillo y Lara 2006), como Delphi.

Aunque cada una de estas clases de EMN surge en fases diferentes de industrialización en México, y en este sentido puede establecerse una suerte de relación diacrónica entre ellas, de igual forma pueden verse sincrónicamente. En la actualidad todas conviven a la vez, es decir, existen las que pueden considerarse mini réplicas de la sede en el país de origen, las de tipo maquiladora y también otras globales. Pero incluso, debido a su enorme dinamismo y complejidad, tampoco sería completamente extraño que en una misma multinacional puedan encontrarse configuraciones híbridas, donde coexisten en paralelo y al unísono rasgos de todos estos tipos o fases de su internacionalización. Además, las estrategias de integración se adaptan a contextos variantes y complejos, como señalan Fleury y Fleury 2011.

Figura 4
Prevalencia de la mezcla:
análisis de la cadena global de valor del iPod (30 *gigabytes*)

Firma y país de origen	País que lo fabrica	Producto o servicio	Dinero obtenido por unidad en dólares	Valor agregado por unidad en dólares
Apple (EE UU)	EE UU	I+D	80	80
Toshiba (Japón)	Filipinas y China	Disco duro	73	19
No reportado	No reportado	Módulo <i>display</i>	20	
Broadcom (EE UU)	EE UU-Taiwán	Video/multimedia <i>Chip</i> procesador	8	
Portal Player (EE UU)	EE UU	<i>Chip</i> controlador	5	
Foxconn (Taiwán)	China	Ensamble final	4	
Otras (<i>unaccounted</i>)	No reportado (fuera de EE UU)	Varias partes	110	
Otras	EE UU	Componentes domésticos	8	
Apple y otras (tiendas de ventas)	EE UU	Distribución	75	

Fuente: Varian (2007).

Otro ejemplo que ilustra la diversidad en el mecanismo de integración son las EMN que llegan y se hacen presentes en formas diferentes. A partir de entrevistas con gerentes de empresas en el proyecto mencionado antes (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología #55018) y en el actual (#155210) hay casos paradigmáticos. Por un lado, con baja presencia se encuentra Tata Consulting Services, que opera en Tijuana, que junto con 30 empresas está en México en el programa *shelter*, que consiste en lo siguiente: una compañía americana pequeña ofrece servicios a las multinacionales para que operan bajo su nombre, y la empresa albergue realiza las funciones laborales (contratación, manejo de la mano de obra), las de oficina de trastienda (*back office*) (contabilidad abogados, informática, importaciones, etcétera) y las productivas (recibe los planos o *blue prints* y maquila el producto o servicio que le pidan). Tata Consulting Services es una de las firmas globales más fuertes y diversificadas de la India, incluso especializada en actividades *back office*. Y, por otro lado, está por ejemplo Scantobodies, una de biotecnología mediana, familiar y con principios cristianos, que funciona en California, Tecate y Etiopía, dedicada al desarrollo de vacunas y procesos de tratamientos de salud para humanos, que en muy poco tiempo construyó su planta de manufactura, bioterio, centro de I+D, clínica y próximamente hospital en Tecate. En la actualidad tiene 35 protocolos en la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios.

Finalmente, en la estrategia de inserción, los países pueden tener diferencias sustantivas en cuanto a la captura del valor. Un buen ejemplo es el caso del popular iPod. Un análisis reciente (Varian 2007) muestra que en la fabricación de este producto participan al menos cinco países y de manera predominante cinco multinacionales. Si bien la totalidad de los iPod que se vendían en el mundo, a 300 dólares al público, eran ensamblados en una fábrica taiwanesa con plantas de manufactura en China (Foxconn), el valor agregado que capturaban era de sólo 4 dólares. Mientras que en Apple, en Estados Unidos, se generaban 155 dólares, a través del diseño y la distribución (véase [figura 4](#)).

CONCLUSIÓN

Las cinco estrategias desplegadas por las corporaciones multinacionales, mostradas en este capítulo (mercado, tecnología de producto, tecnología de proceso, localización e inserción) demuestran que hay múltiples opciones en la toma de decisiones de las empresas en todas las dimensiones presentadas, en su búsqueda por elevar su competitividad y ganancias. Al exponer casos de firmas, industrias o sectores se puede observar que hay opciones muy simples o muy complejas, que pueden suceder al mismo tiempo o en periodos distintos, que las decisiones pueden ser tomadas por las filiales en México o por otra unidad. En fin, lo que se pretendió mostrar aquí fue que las multinacionales son organismos vivientes, dinámicos y con grandes retos por lo que las estrategias por las que opten o que se implementen realmente influyen de manera importante en las regiones donde se localizan.

Por tanto, es necesario realizar un análisis pormenorizado de estrategias por dimensión, en el caso de cada firma, para conocer y explicar de una manera holística las estrategias de las EMN en México y en otros países, y así estar en mejor posición para comprenderlas, analizarlas, criticarlas y, desde luego, tomar ventaja de ellas, como país, como región y como ciudadanos.

BIBLIOGRAFÍA

Alcalá, Ma. del Carmen, Jorge Carrillo e Ismael Plascencia. 2012. Qué son las corporaciones multinacionales. Principales controversias. En *La importancia de las multinacionales en la sociedad global. Viejos y nuevos retos para México*, coordinado por Jorge Carrillo, 17-46. Tijuana: COLEF y Juan Pablos Editor.

- Abo, Tetsuo (editor). 2007. *Japanese Hybrid Factories. A Comparison of Global Production Strategies*. Nueva York: Palgrave-Macmillan.
- _____. 1994. *Hybrid Factory: The Japanese Production System in the United States*. Nueva York: Oxford University Press.
- Arteaga, Arnulfo. 1990. Nacido Ford, crecido flexible. *Revista Trabajo* 1 (2): 64-74.
- Barnet, Richard y Ronald Muler. 1976. *Los dirigentes del mundo. El poder de las multinacionales*. México/Buenos Aires/Barcelona: Grijalbo.
- Basave, Jorge y Ma. Teresa Gutiérrez Haces. 2013. Localización geográfica y sectores de inversión: factores decisivos en el desempeño de las multinacionales mexicanas durante la crisis. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*. Elsevier 18 (34): 33-43.
- Behrman, Jack. 1972. Industrial Integration and the Multinational Enterprise. *The annals, American Academy of Political and Social Science* 403 (1): 46-57.
- Berger, Suzanne. 2006. *How to Compete. What Companies Around the World are doing to make it in Today's Global Economy?* Nueva York/Londres/Toronto/Sydney/Auckland: Currency-Doubleday.
- Boyer, Robert y Michael Freyssenet. 2001. *Los modelos productivos, trabajo y sociedad*. Buenos Aires: CEIL, PIETTE, IADE, Lumen y Humanitas.
- Brito, Janeth (en prensa). *Situación actual y prospectiva de la industria de televisiones en Tijuana*. Tesis doctoral Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Cantwell, John. 1995. The Globalisation of Technology: ¿What Remains of the Product, Cycle Model? *Cambridge Journal of Economics*. February.
- _____ y Ram Mudambi. 2000. The Location of MNE R&D activity: The Role of Investment Incentives. *Management International Review* 40 (special issue): 127-148.
- _____ y R. Narula. 2001. The Eclectic Paradigm in the Global Economy. *International Journal of the Economics of Business* 8 (2).
- Carrillo, Jorge. 2013. Resumen ejecutivo. Firmas multinacionales en México. Un estudio sobre la estructura organizacional, la innovación y las prácticas de empleo. Cuadernos de Trabajo, Tijuana: COLEF. (documento digital).

- _____. 1995. Flexible Production in the Auto Sector: Industrial Reorganization at Ford-México. *World Development* 23 (1): 87-101.
- _____. 1993. La Ford en México. Reestructuración industrial y cambio en las relaciones sociales. Tesis de doctorado, El Colegio de México.
- _____ y Redi Gomis. 2011. Firmas multinacionales en México. Un primer mapeo. *Frontera Norte* 23 (46): 35-60.
- _____ y Alfredo Hualde (coordinadores). 2007. *La industria del televisor digital en México: retos ante la transición tecnológica, el aprendizaje y el empleo*. México: COLEF.
- _____ y Redi Gomis. 2005. Generaciones de maquiladoras. Un primer acercamiento a su medición. *Frontera Norte* 17 (33): 25-51.
- _____ y Oscar Contreras. 2005. Corporaciones transnacionales y redes de abastecimiento local en la industria del televisor en el norte de México. En *Condiciones y retos de la electrónica en México*, coordinado por Dussel Peters y Palacios Lara, 277-302. México: NYCE.
- _____ y Arturo Lara. 2005. Mexican Maquiladoras: New Capabilities Coordination and the Emergence of New Generation of Companies. *Innovation and Economic Development* 7 (2/3): 256-273.
- _____ y Robert Zárate. 2005. Innovación y proveedores en la industria electrónica de Baja California. En *Trabajo y capitalismo entre siglos en Latinoamérica. El trabajo entre la perennidad y la superfluidad*, compilado por A. Bialakowsky, et al., 317-336. Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- _____ y Alfredo Hualde. 1998. Third Generation Maquiladoras? The Delphi-General Motors Case. *Journal of Borderlands Studies* XIII (1): 79-97.
- _____ y Miguel Ángel Ramírez. 1997. Reestructuración, eslabonamientos productivos y competencias laborales en la industria automotriz. En *Competitividad, redes productivas y competencias laborales, ¿homogeneidad o segmentación?*, coordinado por Marta Novick y María A. Gallart, 351-394. Montevideo: CINTERFORD.
- Clemence, Richard (editor). 2009. *Entrepreneurs, Innovations, Business Cycles, and the Evolution of Capitalism. Joseph A. Schumpeter*. Nueva Brunswick: Transactions Publishers.
- Contreras, Oscar y Jorge Carrillo. 2012. Las empresas multinacionales como vehículos para el aprendizaje y la innovación en empresas locales. En *Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo económico*, coordinado por A. Bracamonte Sierra y O. Contreras, 325-354. Hermosillo: EL Colegio de Sonora y Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología.
- Coriat, Benjamín. 1993. *Pensar al revés*, Madrid: Siglo XXI.

- Dicken, Peter. 1998. *Global Shift: The Internationalization of Economic Activity*. Londres: Paul Chapman Publishing.
- Dhose K. V., U. Jürgens y T. Malsch. 1986. *From "Fordism" to "Toyotism"? The Social Organization of the Labour Process in the Japanese Automobile Industry*. Berlín: IIVG Papers y WZ Institute.
- Domínguez, Lilia y Flor Brown. 2004. Medición de las capacidades tecnológicas en la industria mexicana. *Revista de la CEPAL* 83: 135-151.
- Dunning, John H. 2013. *International Production and the Multinational Enterprise*. Nueva York: Routledge Library Editions.
- _____. 1998. Globalization and the New Geography of Foreign Direct Investment. *Oxford Development Studies* 26 (1): 47-69.
- _____. 1993. *Multinational Enterprises and the Global Economy*. Massachusetts/Inglaterra: Addison Wesley.
- _____. 1971. *The Multinational Enterprise*. Londres: George Allen & Unwin.
- _____ y Sarianna M. Lundan. 2008. *Multinational Enterprises and the Global Economy*. Massachusetts: Edwar Elgar Publishing.
- Dutrenit, G., A. Vera Cruz, A. Arias, J. L. Sampedro y A. Urióstegui. 2006. *Acumulación de capacidades tecnológicas en subsidiarias de empresas globales en México. El caso de la industria maquiladora de exportación*. México: Universidad Autónoma Metropolitana y Miguel Ángel Porrúa.
- Enciclopedia Británica*. 2009. Multinacional Corporation. Reino Unido. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/397067/multinationalcorporation>
- Fleury, Alfonso y María Tereza Fleury. 2011. *Brazilian Multinationals: Competences for Internationalization*. Nueva York: Cambridge.
- _____ y John Humphrey. 1993. *Human Resources and the Diffusion and Adaptation of New Quality Methods in Brazil*. Brighton: Institute of Development Studies, Sussex University.
- Freyssenet, Michael (editor). 2009. *The Second Automobile Revolution*. Gran Bretaña: Palgrave, McMillan y GERPISA.
- Fujimoto, Takahiro. 2007. *Competing to be Really, Really Good. The Behind-the-scenes Drama of Capability-building Competition in the Automotive Industry*. Tokyo: LTCB International Library Trust e International House of Japan.
- Galbraith, John. 1967. *The New Industrial State*. Princeton: Princeton University Press.

- García, Humberto. 2013. Metodología de selección de industrias “tipping point” vinculadas al fenómeno del retorno de producción de bienes y servicios de China a Norteamérica. Documento interno. México: Centro de Investigación para el Desarrollo.
- Giuliani, Elisa, Carlo Pietrobelli y Roberta Ravellotti. 2005. Upgrading in Global Value Chains: Lessons from Latin American Clusters *Science Direct, Elsevier* 33 (4): 549-573.
- Hualde, Alfredo y Jorge Carrillo. 2007. *La industria del televisor digital en México: retos ante la transición tecnológica, el aprendizaje y el empleo*. México: COLEF.
- Itagaki, Hiroshi. 1997. *The Japanese Production System. Hybrid Factories in East Asia*. Londres: Macmillan Business.
- Jullien, Bernard y Tommaso Pardi. 2013. Structuring New Automotive Industries, Restructuring Old Automotive Industries and the New Geopolitics of the Global Automotive Sector. *International Journal Automotive Technology and Management* 13 (2): 96-113.
- Kogut, Bruce y Udo Zander. 1993. Knowledge of the Firm and the Evolutionary Theory of the Multinational Corporation. *Journal of International Business Studies* 625-645.
- Kristensen, Peer H., y Jonathan Zeitlin. 2005. *Local Players in Global Games: The Strategic Constitution of a Multinational Corporation*. Oxford/Nueva York: Oxford University Press.
- Lacey, Robert. 1987. *Ford. The Men and the Machine*. Nueva York: Ballantine Books.
- Lall, Sanjaya. 1993. Transnational Corporations and Economic Development. *The United Library on Transnational Corporations*. Londres/Nueva York: Routledge Publisher.
- _____. 1990. Building Industrial Competitiveness in Developing Countries. París: OCDE.
- Lara, Arturo. 2001. Convergencia tecnológica y nacimiento de las maquiladoras de tercera generación. *región y sociedad* XII (21): 47-77.
- _____. 2000. Complejidad y desequilibrio tecnológico: notas sobre la convergencia del sector automotriz y el sector electrónico. En *Innovación industrial, desarrollo rural e integración internacional*, compilado por Flore y Novelo, 213-238. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- _____. 1997. Competitividad, cambio tecnológico y demanda cualitativa de fuerza de trabajo en la maquiladora de exportación: el caso de las empresas japonesas en el sector electrónico de la televisión. Cuaderno de trabajo. México: Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

- Micheli, Jordy. 1991. Nueva manufactura, globalización y producción de automóviles en México. Tesis de maestría. Facultad de Economía, UNAM.
- Mortimore, Michael. 2006a. *Globalización y empresas transnacionales: ¿oportunidades para el desarrollo?* Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), ONU.
- _____. 2006b. Transnationalization of Developing America: Opportunities and Challenges. Documento interno. Santiago: CEPAL.
- _____ y Sebastián Vergara. 2007. Nuevas estrategias de empresas transnacionales: México en el contexto global. En *La inversión extranjera directa en México: desempeño y potencial. Una perspectiva macro, meso y micro*, Dussel Peters. México: UNAM, Secretaría de Economía y Siglo XXI.
- ONU. 2002. Derechos económicos, sociales y culturales. Prevención de la discriminación. E/CN.4/Sub.2/2002/NGO/21, 24 de julio (26 de agosto de 2013).
- Ohmae, Kenichi. 2005. *The Next Global Stage, Challenges and Opportunities in our Borderless World*. Warton School Publishing.
- _____. 1990. *El poder de la tríada. Panorama de la competencia mundial en la próxima década*. México: McGraw Hill.
- Osterwalder, Alexander e Yves Pigneur. 2010. *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. John Wiley and Sons.
- Patel, Pari y Modesto Vega. 1999. Patterns of Internationalization of Corporate Technology: Location vs Home Country Advantages. *Research Policy* 28 (2-3): 145-155.
- Perlmutter, Howard V. 1969. The Tortuous Evolution of Tech Multinational Corporation, Columbia. *Journal of World Business* 4: 9-18.
- Pozas, María de los Ángeles. 2007. Entre la generación y la apropiación del valor agregado. Ponencia presentada en el seminario Firmas multinacionales en México: de la innovación a la responsabilidad social, Ciudad de México.
- Sánchez, Joan Eugeni. 2008. El poder de las empresas multinacionales. Ponencia presentada en el X Coloquio Internacional de Geocrítica. Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Schumpeter, Joseph A. 1949. *Change and the Entrepreneur*. Cambridge: Harvard University Press.

Trajtenberg, R. 1985. Concentración global y transnacionalización. *Revista Economía de América Latina*. Buenos Aires: CET.

UNCTAD. 2012. *World Investment Report 2012*. Nueva York/Ginebra: ONU.

Varian, Hal R. 2007. An iPod has Global Value. Ask the (Many) Countries that make it. *The New York Times*. 28 de junio.

Vernon, Raymond. 1980. *El dilema económico de México*. México: Diana.

_____. 1966. International Investment and International Trade in the Product Cycle. *The Quarterly Journal of Economics* 80 (2): 190-207.

World Investment Report (WIR). 2008. *Transnational Corporations and the Infrastructure Challenge*. Ginebra: WIR/ONU.

DESARROLLO REGIONAL EN MÉXICO

DURANTE 2003-2011:

POLARIZACIÓN DE LA MANUFACTURA Y DIVERSIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS

Jordy Micheli Thirión¹

INTRODUCCIÓN

Durante la década de 1980 se afianzó la desconcentración regional de varias industrias de la manufactura, encabezada por la automotriz, hacia zonas del norte del país, lo que atrajo nuevas capacidades laborales y tecnológicas a regiones específicas en estados fronterizos. Simultáneamente comenzó a ser patente la evolución de la maquila tradicional, establecida a mediados del siglo pasado, a formas de mayor complejidad en términos del proceso ensamblador, de su tecnología y de las competencias ingenieriles, para la adaptación de las plantas a nuevos estándares reclamados por la globalización.

Este proceso conjunto de desconcentración geográfica y de escalamiento tecnológico de la maquila fue ganando la atención de una nueva corriente de investigación socioeconómica mexicana, y la convirtió en un fenómeno bien estudiado y, aún más, en un paradigma del modo de abordar la evolución industrial desde la óptica mesoeconómica, con un fuerte componente de estudio de campo. Sin ser exhaustivos, cabe mencionar los trabajos de esta corriente, de la autoría de Casalet (2000) y Casas (2001), cuyo papel es importante por sus primeros estudios sobre el capital social regional; por su parte, Carrillo y Barajas (2007), Lara (2007), Dutrenit (2009), Hualde (2010) y Contreras e Isiordia (2010) analizaron sectores y regiones, con un énfasis significativo en procesos de aprendizaje y escalamiento. En los últimos años ha adquirido relevancia la búsqueda de innovación regional, con Villavicencio y López de Alba (2009), Rozga (2010), Bracamonte y Contreras (2011) y Villavicencio et al. (2011).

Este enfoque tuvo la enorme ventaja de asociarse y encontrar el soporte teórico en una potente corriente de investigaciones internacionales, que indagaban sobre la especificidad de la internacionalización productiva durante la fase de la globalización. En particular, fue importante el paso de una división internacional estática del trabajo, con ventajas laborales basadas en trabajo barato y apto para el aprendizaje, a otra en la cual las preguntas eran acerca del modo en que se creaban oportunidades locales, al estar implicadas en alguna parte de la cadena de valor global. Los *clusters* y el escalamiento/aprendizaje

¹ Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco (UAM-A). Correo electrónico: jordy.micheli@gmail.com

fueron las herramientas analíticas cruciales para la investigación de los procesos locales de industrialización ligada a la inversión extranjera y la exportación en un ámbito regional, que abarcó tanto a estados de la frontera norte como a los del Bajío.

La implantación productiva siguió su curso al final del siglo XX y la primera década del actual. Fue visible la aparición de importantes núcleos de producción en las industrias del *software* y de la aeronáutica, no sólo en algunas zonas del norte de México sino también en entidades del centro en donde la industrialización tradicional había estado presente. La investigación también se abocó a esta nueva realidad, y mostró evidencias sustanciales sobre las características sociotécnicas de las industrias emergentes.

En forma paralela surgió el interés por observar la relación de la industrialización con el capital social e institucional regional y, en particular, por el intento de mostrar cómo el desarrollo de mejoras o de innovaciones puntuales e incrementales, tanto en procesos como en productos, era el resultado de estrategias empresariales y de vínculos de las plantas productivas con el entramado de capacidades locales, en especial del capital intangible (educación, conocimiento, confianza) y de las instituciones que las creaban.

Así se llegó a un panorama como el de hoy, en que comienza la segunda década del siglo XXI, con una metodología que busca definir modos en que las capacidades locales son fuerzas que delimitan los modos de industrialización en regiones determinadas, para aprovechar las dinámicas internacionales de innovación y transformación de las industrias, lideradas por empresas multinacionales, para mercados de masa.

La literatura sobre actores, procesos y sistemas regionales de producción manufacturera ha creado una intersección entre las visiones de cadenas de valor internacionales y la construcción de un capital social en cada región. Ha producido importantes y variados análisis sobre realidades en que la inversión extranjera es el origen de la producción y el destino es el mercado estadounidense, básicamente. Así se ha analizado la frontera norte y estados de dinamismo manufacturero como Aguascalientes, Guanajuato y Querétaro y, con esta óptica, se ha hecho también con los del centro en menor medida: Estado de México, Distrito Federal y Puebla, cuyas estructuras de producción son más tradicionales.

En ese ámbito, la corriente académica mencionada adoptó el concepto de competitividad como sinónimo del resultado exitoso de las mejoras que emprenden las plantas en un contexto regional. También apoyó la idea de la existencia de *clusters*, y mostró su funcionamiento en algunos casos paradigmáticos. En suma, la competitividad y los *clusters* han acompañado a una visión de desarrollo industrial de éxito, que ha impregnado regiones significativas de la geografía económica de los estados fronterizos y de otros como Jalisco o Guanajuato.

Sin embargo, el análisis regional también se nutre con una visión estructural que permite observarlo, dimensionarlo y compararlo desde otro ángulo, a través de las estadísticas tradicionales sobre el desempeño en términos de contabilidad nacional de los sectores económicos (bienes y servicios desagregados). El texto de Unger (2003) es un ejemplo de esta preocupación de construir dimensiones y comparaciones, a partir de las evidencias de la literatura de actores y procesos de matriz mesoeconómica. Él abordó las estadísticas de la contabilidad nacional para contextualizar el significado de la evolución de *clusters* del automóvil y del calzado en tres zonas definidas. Por otra parte, Ruiz Durán (2004) elaboró un análisis nacional sobre el desempeño de las diversas regiones.

El enfoque estructural permite trazar también una figura del desarrollo económico, al incluir una visión de la tercerización de la economía regional, como lo hicieron Cuadrado y Maroto (2012), para el caso español. A medida que el sector de servicios, considerado originalmente como un “remanente” de la actividad productora de bienes en la estructura económica, ha ido ganando en extensión, complejidad y en capacidad de innovación, en especial por su amplio uso de tecnologías digitales, se ha abierto ya a la idea de interpretar al desarrollo como una mezcla eficiente entre producción material e inmaterial, es decir, bienes y servicios nucleados por la economía del conocimiento Bell (1999), Veltz (1996), Freeman (2001). En definitiva, se trata

de una nueva concepción del sector industrial, más moderna y ajustada a una realidad, en la que se tiene en cuenta las características de la creciente interrelación entre las actividades manufactureras y las de servicios, ya sea en el propio seno de la empresa o en la cadena de valor de los productos (Oliva y Kallenberg (2003); Micheli (2008) y Valls et al. (2012), entre otros.

El tema central que está sujeto a exploración es la coevolución o transición de una economía de base manufacturera a otra de servicios. Las diferencias económicas entre ambas era bastante clara, y se sostenía una visión de que los servicios eran poco dinámicos en términos de productividad. Sin embargo, la irrupción de las tecnologías de información y comunicación ha permitido importantes cambios en el dinamismo y la innovación en los servicios (Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD 2000); Gallouj y Djellal (2010), y han producido las siguientes interrelaciones significativas entre servicios y manufactura: a) los mayores ingresos (en general y en labores manufactureras en particular) generan más demanda individual de servicios; b) las empresas manufactureras demandan servicios (financieros, asesoría, servicios profesionales, logística, *call centers*, etcétera; c) los servicios, que antes se computaban como manufactura, ahora se externalizan, esto genera formas innovadoras en su producción; d) las empresas manufactureras generan también servicios (coproducción); e) existe una coevolución “natural” en las industrias de tecnología digital y f) el sector público provee servicios derivados del desarrollo urbano y económico.

LA PRODUCCIÓN MANUFACTURERA Y SU DISTRIBUCIÓN REGIONAL (2003-2011)

En el periodo de 2003 a 2011 se observó la estructura del producto en las manufacturas y su evolución (véase [figura 1](#)). Fueron tres los subsectores dominantes: las industrias alimentaria, de bebidas y tabaco; la de maquinaria y equipo y la de derivados del petróleo y del carbón, la química, del plástico y hule; sectores que en conjunto representaban poco más de 70 por ciento del producto interno bruto (PIB) manufacturero mexicano.

Figura 1
Los tres principales subsectores de la manufactura
y su participación en la estructura del PIB nacional/
(% del PIB de manufacturas y tasa promedio
de crecimiento anual 2003-2011, precios de 2003)

Subsector	2003	2011	TPCA*
Industria alimentaria, bebidas y tabaco	28.06	28.02	2.25
Maquinaria y equipo	26.36	30.65	4.21
Derivados del petróleo y del carbón, industria química, del plástico y hule	15.90	14.09	0.72
Total	70.32	72.76	

Fuente: cálculos propios, con base en INEGI (2012)

* tasa promedio de crecimiento anual

En cuanto al dinamismo, es relevante la tasa de crecimiento de 4.21 por ciento anual del sector de maquinaria y equipo, que aumentó el doble que el de la manufactura en su conjunto (2.26). Por ello tuvo lugar un importante cambio en la estructura productiva de la manufactura en México; se intercambiaron los primeros lugares entre dicho sector y el de la industria alimentaria, bebidas y tabaco. Así, en 2011, la maquinaria y equipo representaron poco más de 30 por ciento de la producción nacional y la industria alimentaria, de bebidas y tabaco poco más de 28.

Figura 2
 Los principales estados por su crecimiento
 en manufactura y servicios (%)
 (tasa promedio de crecimiento anual del PIB,
 2003-2011, a precios de 2003)

	Manufacturera	Servicios
Nacional	2.51	2.78
Nuevo León	4.81	3.23
Sonora	4.67	3.20
Aguascalientes	4.47	2.89
Querétaro	4.21	4.86
Puebla	4.05	2.81
Estado de México	3.82	3.46
Guanajuato	2.66	2.98
Baja California	1.94	2.37
Coahuila	1.79	3.02
Jalisco	1.25	2.86
Distrito Federal	0.66	2.23
Chihuahua	-0.31	2.53
Tamaulipas	-0.31	2.33

Fuente: cálculos propios, con base en INEGI (2012).

Los componentes dinámicos de este sector de maquinaria y equipo han sido la fabricación de maquinaria y de equipo de transporte, con tasas de crecimiento promedio anual de 7.26 y 6.66 por ciento respectivamente, entre 2007 y 2012; las otras industrias, que forman parte del rubro de maquinaria y equipo han tenido crecimiento negativo; el de equipo de cómputo, comunicaciones y electrónica, de -1.54 por ciento y el de generación eléctrica, aparatos y accesorios electrónicos, de -0.13. Esta práctica que ha caracterizado al sector manufacturero nacional está relacionada con el interés de las empresas multinacionales: el monto acumulado de la inversión extranjera directa (IED), destinado al subsector maquinaria y equipo, representó

casi 52 por ciento del total para las manufacturas, de 1999 a 2009. Las inversiones para la industria automotriz fueron las más grandes, con 25 por ciento del total destinadas a la manufactura (Mendoza 2011, 164).²

La conclusión es bastante clara: en México, el actor principal del crecimiento de la manufactura es la producción de equipo de transporte, en particular del automóvil, que constituye el pilar de su evolución (véase [figura 2](#)).

Los estados líderes en crecimiento industrial manufacturero son Nuevo León, Sonora, Aguascalientes, Querétaro y Puebla, en los que éste es muy bajo son Chihuahua, Tamaulipas (ambos con decrementos), el Distrito Federal, Jalisco y Baja California. Esta primera aproximación muestra a entidades “ganadoras y perdedoras” en materia de crecimiento de su producción manufacturera, y debería servir para contextualizar las explicaciones sobre industrialización regional en ellas.

Figura 3
Principales estados manufactureros y el peso relativo
de sus principales subsectores de manufactura
(% del subsector en el total estatal, 2003 y 2011, a precios de 2003)

	Maquinaria y equipo		Alimentos, bebidas y tabaco		Derivados del petróleo y carbón, química, plástico y hule		Industrias metálicas		Totales	
	2003	2011	2003	2011	2003	2011	2003	2011	2003	2011
Nacional	26.36	30.65	28.06	28.02	15.90	14.09			70.22	72.76
Ganadores										
Nuevo León	28.26	34.45	18.65	17.58			19.49	19.05	66.40	71.08
Sonora	23.86	45.73	39.91	27.89			14.54	12.35	78.31	85.97
Aguascalientes	51.89	59.15	23.80	20.58					75.69	79.73
Querétaro	40.00	44.98	23.40	18.44					63.40	63.42
Puebla	48.07	59.96	21.34	15.90					69.41	75.86
Estado de México	23.12	24.70	31.16	36.46	19.79	16.35			74.07	77.51
Perdedores										
Chihuahua	60.31	52.74	13.14	13.26					73.45	66.00
Tamaulipas	42.17	42.22	17.21	16.83	26.28	26.18				
Distrito Federal	9.16	9.30	23.70	25.90	36.52	33.80			69.38	69.00

Fuente: cálculos propios, con base en INEGI (2012).

² Cabe mencionar que si bien la IED en las manufacturas fue dinámica durante la década de 1990, en los años transcurridos del presente siglo ha tenido un comportamiento declinante en términos generales. Esta situación se inscribe en un cuadro general de estancamiento de la economía internacional y pérdida de dinamismo del mercado estadounidense. Se puede relacionar también este dato con la tasa declinante de la producción en los sectores de equipo de cómputo y de los eléctricos.

El subsector de maquinaria y equipo juega un papel central: los estados “ganadores” han visto crecer la producción de éste y en los “perdedores” ha disminuido (véase [figura 3](#)). En Sonora, Chihuahua, Aguascalientes, Querétaro y Tamaulipas domina la producción manufacturera. En algunos casos, ésta constituye más de la mitad (Aguascalientes y Chihuahua), y en otros se acerca a la mitad (en Sonora, que ha dado un brinco importante; Querétaro y Tamaulipas). El Estado de México y Nuevo León tienen una estructura menos polarizada y, por ende, más equilibrada entre sus subsectores dominantes; en el Distrito Federal domina la producción de derivados del petróleo y carbón, química, plástico y hule.

Vale la pena observar el dato de la especialización de cada entidad (véase [figura 4](#)). Este es un indicador muy utilizado para la descripción de las economías regionales (véase anexo metodológico), que consiste en dividir el peso estatal (en por ciento) de alguna industria en la manufactura del estado, entre el peso nacional (en por ciento) de la misma en la nacional; aquí se utilizó el dato de la producción. Un resultado de 1 o superior indica una especialización en la industria específica.

Figura 4
Principales estados manufactureros y su especialización
en 2011, con PIB, a precios de 2003

	Maquinaria y equipo	Alimentos, bebidas y tabaco	Derivados del petróleo y carbón, química, plástico y hule	Industrias metálicas	Textiles	Papel
Nuevo León	1.12			2.21		
Sonora	1.49					
Aguascalientes	1.92					
Querétaro	1.46					4.12
Puebla	1.95					
Estado de México	-	1.30	1.16			
Guanajuato	1.39				2.39	
Baja California	1.59					
Coahuila	1.72			2.35		
Jalisco	-	1.48				
Distrito Federal	-		2.39		2.05	
Chihuahua	1.72					
Tamaulipas	-					

Fuente: cálculos propios, con base en INEGI (2012).

Como puede verse, nueve estados tienen una especialización en maquinaria y equipo; en cinco de ellos es la única, como es el caso de Sonora, Aguascalientes, Puebla, Baja California y Chihuahua.

¿UNA COEVOLUCIÓN MANUFACTURA-SERVICIOS?

Unos de los temas importantes en la actualidad, en términos del desarrollo, es identificar de qué manera se establece la relación entre la producción manufacturera y la de servicios y cuál es la calidad y sustentabilidad de los empleos en estos últimos. Eso conduce a cuestiones de productividad, innovación, inserción en mercados dinámicos, etcétera.

Un ejercicio econométrico simple (véase anexo metodológico) para México, con el fin de obtener las elasticidades de los servicios en los subsectores, respecto a la manufactura y en una serie de tiempo de 2003 a 2011, arrojó el resultado mostrado en la [figura 5](#). En él, lo interesante es empezar a distinguir los sectores de los servicios que responden de manera importante a la producción industrial y, desde luego, advertir el peso que tienen en ella. Así, se observa que hay algunos muy elásticos ante la elaboración de bienes manufacturados: los servicios financieros y de seguros, la información en medios masivos y la dirección de corporativos y empresas.

Figura 5
Principales subsectores de los servicios y su elasticidad
producto respecto al producto manufacturero
(2003 a 2011, a precios de 2003)

Servicios	Elasticidad respecto a la industria manufacturera	% del subsector en el total de servicios (2011)
Total	1.04	100.00
Servicios con elasticidad mayor a 1:		
52 servicios financieros y de seguros	4.20	8.78
51 información en medios masivos	2.51	6.16
55 dirección de corporativos y empresas	1.98	0.69
43 y 46 comercio	1.36	25.65
48 y 49 transportes, correos y almacenamiento	1.08	11.43
Total 5 subsectores	52.71	
Servicios con elasticidad menor y cercana a 1:		
53 servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	0.85	17.0
56 servicios de apoyo a negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	0.81	4.11
54 servicios profesionales, científicos y técnicos	0.75	5.38
Total 4 subsectores		26.49

Fuente: cálculos propios, con base en INEGI (2012).

Es también interesante constatar que más de la mitad del valor de la producción en servicios es elástica respecto a la manufactura, y 25 por ciento más es casi elástica. Ello habla de un monto de producción de servicios que tiene una correlación importante con la manufacturera. Vale la pena mencionar que los servicios de apoyo a negocios y profesionales (subsectores 56 y 54) tienen aún un potencial para crecer frente al crecimiento manufacturero; y que los educativos son inelásticos, ante la manufactura. Estos son aspectos relevantes para el desarrollo regional.

Figura 6
Principales subsectores de la manufactura y la elasticidad
producto de los servicios respecto a ellos
(2003 a 2011, a precios de 2003)

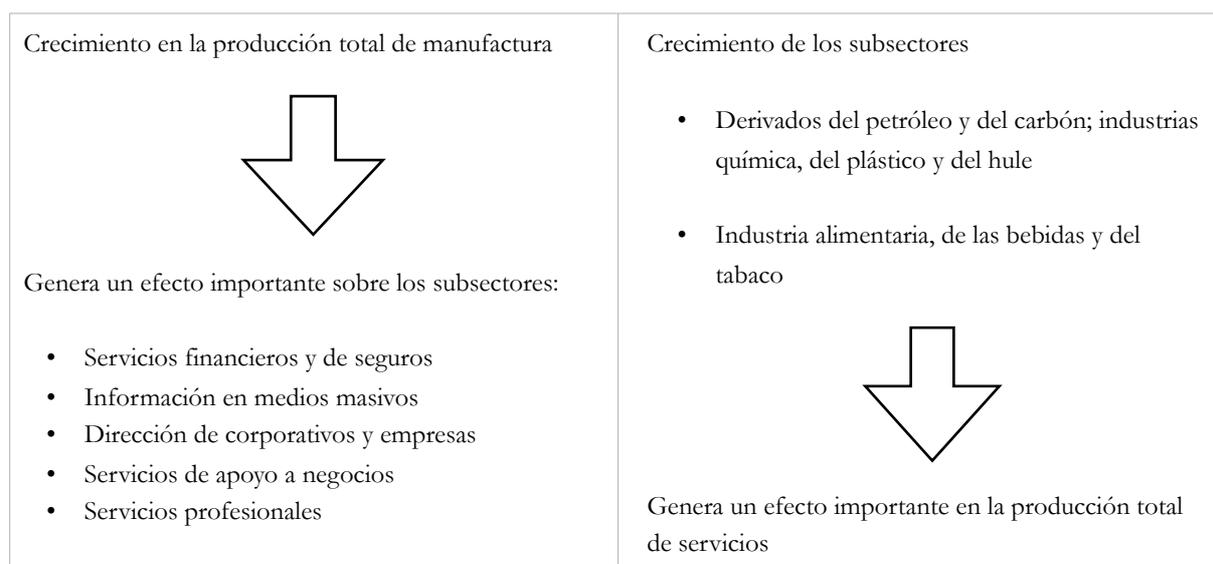
Manufactura	Elasticidad de los servicios respecto al subsector manufacturero	% del subsector en el total de manufacturas (2011)
Total	1.04	
Manufactura con elasticidad de servicios mayor a 1		
324 y 326 derivados del petróleo y del carbón; industrias química, del plástico y del hule	1.26	14.09
311 y 312 industrias alimentaria, de las bebidas y del tabaco	1.21	28.02
Total 2 subsectores		42.11
Manufactura con elasticidad de servicios menor y cercana a 1		
322 y 323 industrias del papel, impresión e industrias conexas	0.95	3.11
327 fabricación de productos a base de minerales no metálicos	0.85	6.21
Total 2 subsectores		9.32

Fuente: cálculos propios, con base en INEGI (2012).

Otro ejercicio igual de simple se emplea para definir la elasticidad de los servicios en conjunto, ante los subsectores individuales de la manufactura. El resultado se muestra en la [figura 6](#), y aquí lo llamativo es que sólo existen dos subsectores de la manufactura ante los cuales los servicios son elásticos, y son los que ocupan el segundo y tercer lugar en la estructura productiva manufacturera, característicos de la “vieja industrialización”. Así ocurre también con los dos subsectores que le siguen, como se observa en la [figura 6](#). En cuanto a la manufactura, 42 por ciento puede generar una respuesta elástica mayor a 1 en los servicios. Es claro, sin embargo, que la fabricación de maquinaria y equipo, el pilar de la manufactura nacional y local, no participa en la creación de una actividad relevante en servicios (véase [figura 7](#)).

Figura 7

Relación de crecimientos elásticos entre manufactura y servicios



EL PESO CRECIENTE DE LA PRODUCCIÓN DE SERVICIOS:
DISTRIBUCIÓN REGIONAL (2003-2011)

En una primera comparación general entre los servicios y la manufactura, cabe decir que por cada peso generado en ésta, se producían 3.36 pesos en 2003 y 3.50 en el sector de servicios, en 2011. La tercerización de la economía se puede observar de varias formas, sin embargo, esta relación es muy clara. Por su dinamismo, la tasa de crecimiento de la producción anual de servicios entre 2003 y 2011 fue de 2.78 por ciento versus 2.26, de la industria manufacturera. En suma, el sector servicios es 3.5 veces mayor que el de manufacturas y, en promedio anual, ha crecido 23 por ciento más rápido.

La estructura de los servicios en México³ está compuesta en cerca de 25 por ciento por el comercio, en 17 por el ramo inmobiliario y de arrendamiento de bienes muebles e intangibles y en poco más de 11 en transportes, correos y almacenamiento. El subsector de comercio ha tenido una variación importante, superior a la del conjunto de los servicios, y por ello su participación en la estructura ha aumentado en 1.5 puntos porcentuales; en cambio, los otros dos subsectores han variado muy poco en el periodo analizado.

El subsector de los servicios financieros y de seguros le sigue en importancia, con una tasa de crecimiento de 12.45 por ciento, que es casi cinco veces la de los servicios en su totalidad. Este acontecimiento ha rebasado al sector educativo como generador de valor monetario, ha sido el cambio más relevante en la estructura de servicios. Es pertinente hacer otra mención sobre el incremento de 7.18 por ciento (más del doble del de servicios) del subsector de información en medios masivos (véase [figura 8](#)).

³ Para mayor comprensión sobre la clasificación de los servicios se puede revisar: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/censos/scian/estructura.pdf>

Figura 8

Principales subsectores de los servicios y su participación en el PIB
(% del PIB de servicios y tasa promedio de crecimiento anual 2003-2011, a precios de 2003)

Subsector	2003	2011	TPCA*
43 y 46 comercio	24.16	25.65	3.55
53 servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	17.61	17.00	2.33
48 y 49 transportes correos y almacenamiento	11.39	11.43	2.83
52 servicios financieros y de seguros	4.28	8.78	12.45
61 servicios educativos	8.32	7.24	1.01
51 información en medios masivos	4.40	6.16	7.18
93 actividades del gobierno	7.01	6.12	1.04
Total			

Fuente: cálculos propios, con base en INEGI (2012).

* Tasa promedio de crecimiento anual.

Ahora hay que observar el comportamiento de los elementos del sector servicios en los estados seleccionados. En la [figura 2](#) aparecen de mayor a menor, los estados según su crecimiento en manufacturas. También se incluye ahí el aumento en servicios, y prácticamente se advierte una coevolución: los ganadores y perdedores en cuanto a su dinamismo manufacturero lo son también en los servicios. En la [figura 3](#) se hace un análisis de los mismos estados; contiene la información construida para tal efecto, con una variante respecto al modo de presentar la manufactura. Si bien en el caso de esta última resultaba conveniente presentar la estructura estatal, a través de los dos o tres subsectores más representativos, en los servicios se optó por una presentación diferente, y mostrar los valores del crecimiento de los subsectores significativos de los servicios en cada entidad, de suerte que se ilustrara su dinamismo estatal comparado con el nacional del subsector.⁴ Los estados se ordenaron de mayor a menor, según su dinamismo general en los servicios, y se puede mantener así la lógica de denominarlos como “ganadores y perdedores”, al igual que con la manufactura. En la [figura 2](#) se listan los estados con subsectores de servicios por arriba o por abajo del crecimiento nacional. Se advierte que en los de la parte superior la media estaba por encima de la nacional, entre ellos sobresalió, sin duda, Querétaro. Los de la parte inferior, Baja California, Chihuahua y el Distrito Federal tuvieron subsectores de crecimiento lento, donde resaltó el Distrito Federal.

⁴ Para abundar un poco más en esta decisión, la estructura de manufactura en los estados es mucho más específica o histórica que la de servicios, se trata de una implantación de capital fijo que se ha invertido a lo largo de tres o cuatro decenios, y que ha definido y lo sigue haciendo el contexto industrial regional. Los servicios son más transversales, y parte de la inversión es producto de empresas de alcance nacional, como son sin duda los servicios bancarios y las cadenas de almacenes. Si se mantiene la hipótesis de que una parte importante de los servicios tiene una coevolución con la manufactura, resulta más esclarecedor de lo que ocurre a escala regional observar la estructura de la manufactura y el dinamismo de diversos tipos de servicios.

Figura 9
Principales estados y su dinamismo en algunos subsectores de servicios
(tasa promedio de crecimiento anual 2003-2011, a precios de 2003)

	Servicios	Comercio	Transportes	Inmobiliarios y de alquiler	Financieros y de seguros	Información en medios masivos	Servicios profesionales, científicos y técnicos	Apoyo a negocios	Dirección de corporativos y empresas
Nacional	2.78	3.55	2.83	2.33	12.45	7.18	1.98	2.16	4.97
Querétaro	4.86	6.20	5.46	4.28	16.55	10.72	4.51	4.96	3.09
Estado de México	3.46	4.52	4.45	2.10	14.14	4.63	3.12	3.79	0.67
Nuevo León	3.23	4.09	3.17	2.80	14.29	5.07	2.07	2.70	1.62
Sonora	3.20	3.25	3.12	3.03	10.94	11.51	0.22	3.84	1.48
Coahuila	3.02	3.03	3.93	3.24	17.72	6.36	2.74	3.29	-0.12
Aguascalientes	2.89	3.02	3.33	3.99	11.47	9.60	2.09	1.35	0.35
Guanajuato	2.98	2.66	4.07	2.68	18.17	8.13	5.60	1.43	0.97
Jalisco	2.86	3.82	2.38	2.58	13.03	7.95	0.94	2.64	0.89
Puebla	2.81	3.47	2.31	2.18	12.93	10.13	0.98	2.90	0.14
Baja California	2.37	2.77	2.32	3.19	12.62	5.45	1.92	2.92	0.07
Chihuahua	2.53	2.47	2.01	2.59	9.98	7.08	2.35	0.66	-0.53
Distrito Federal	2.23	2.81	1.78	1.45	10.75	5.84	1.07	0.99	5.82

Fuente: cálculos propios, con base en INEGI (2012).

El peso del Distrito Federal (23.73 por ciento) en los servicios es equivalente al del Estado de México (9.43), Nuevo León (7.65) y Jalisco (6.69) juntos, que sumaban 23.17. En realidad, el tamaño ya alcanzado en servicios por la capital hace que no se pueda comparar con el resto del país, en especial si se observan los dinamismos. Querétaro contaba con mejores desempeños en su crecimiento, pero también con el segundo menor peso en los servicios a escala nacional (1.79 por ciento), sólo superado, en menor tamaño, por Aguascalientes (0.95 por ciento). Así, las dimensiones económicas de estas entidades son un factor que se debe considerar en un análisis pormenorizado de la evolución de este rubro. Si se hace a un lado el tamaño, vale la pena mostrar algunos aspectos interesantes.

- Querétaro, el Estado de México y Guanajuato tenían un dinamismo importante en el subsector de transporte (5.46, 4.45 y 4.07 por ciento respectivamente), y una parte de la explicación puede ser el hecho de que conforman tanto un espacio productivo como un corredor de bienes manufacturados central, en la relación con Estados Unidos.
- Sólo el Distrito Federal contaba con un crecimiento notable en la dirección de corporativos y empresas (5.82 por ciento), rubro en el que ningún otro estado muestra un dinamismo relevante, inclusive en Chihuahua, Baja California y Coahuila había un decremento o crecimiento casi nulo. Este aspecto tiene que ver con la concentración capitalina de centros de dirección de las empresas que actúan nacionalmente, en los diversos ámbitos de la economía.

- Guanajuato y Querétaro mostraban un dinamismo notable (5.60 y 4.51 por ciento) en servicios profesionales, científicos y técnicos, situación que concuerda con la creación de climas y políticas locales que favorecen la creación de capital intelectual e instituciones ligadas al desarrollo industrial, tal como se ha referido en la literatura sobre dichas entidades.
- En Querétaro, sobre todo, (4.96 por ciento) y, en menor medida, en Sonora (3.84), Estado de México (3.79) y Coahuila (3.29) es notable el dinamismo de los servicios de apoyo a negocios. Esta situación es importante en su relación con la construcción de tejidos económicos territoriales que acompañan al desarrollo económico
- Los bajos desempeños generales de Baja California y Chihuahua quizá tenían relación con la fuerte implantación manufacturera de empresas de la maquila, las cuales están sujetas a una dependencia muy directa del ciclo económico de Estados Unidos. En Chihuahua se sumaría la crisis de violencia social y el predominio de la economía criminal.

CONCLUSIONES

En materia de producción de manufacturas, en los ámbitos nacional y estatal, la producción del subsector maquinaria y equipo ha dominado el proceso de industrialización, dirigido por los intereses de las empresas de la industria automotriz. Esta situación ha hecho que en varios de los estados, considerados como dinámicos por la literatura académica sobre el desarrollo mesoeconómico, el resultado haya sido en realidad una concentración de capacidades y de producción en torno a un solo tipo de industria, vinculada al mercado estadounidense.

Un análisis de elasticidades de servicios frente a la manufactura constituye una aproximación para dimensionar la coevolución de ambos sectores. Los resultados indican que hay algunos de servicios que responden con una elasticidad superior a 1, así como otros de manufactura que generan elasticidades de servicios superiores a 1. Con más datos y mayores ajustes es posible empezar a distinguir el modo en que se correlacionan servicios y manufactura en los estados; sin embargo, se considera importante apuntar que, al parecer, la producción en la cual hay más especialización (maquinaria y equipo) es la que menos aporta al desarrollo de los servicios.

La economía nacional ha continuado tercerizándose, esto implica que siguió aumentando el peso de los servicios respecto a la manufactura. Ese es un dato básico para guiar las preguntas sobre lo que ocurre con el desarrollo económico en los estados, en especial en aquéllos con un aumento manufacturero importante, como es el conjunto analizado.

Si en el rubro de manufacturas el panorama estatal muestra una concentración destacada en un solo subsector, y puede decirse que los estados son más parecidos entre sí, en el de los servicios hay una mayor diversidad entre ellos. Esta constatación estadística puede constituir un punto de partida para generar una visión más amplia del desarrollo regional y con mayores temas de reflexión, dentro de la corriente de estudios mesoeconómicos en los que el papel analítico ha sido relevante.

En suma, parece ya ineludible que los servicios formen parte de las preguntas sobre el desarrollo de las industrias locales, y que se pueda dar el salto de ver a la manufactura para mirar al desarrollo, mantener la preocupación por la innovación, el capital intelectual y social y, en general, las capacidades locales, pero en un ámbito económico propio de la realidad de un proceso de tercerización como característica estructural central.

Índice de especialización

Este índice muestra la participación de un subsector en un estado determinado, en relación con la participación de esa actividad a escala nacional. Un estado se especializará en un subsector si su aportación a éste, respecto al total, estatal es mayor que la nacional de ese sector, cuando el valor del índice es mayor que la unidad. Si éste es menor que 1, indica que no está especializado en dicho subsector. El grado de especialización de un estado será mayor, en cuanto el valor del índice sobrepase más a la unidad en un subsector determinado.

El índice de especialización del PIB se define de la forma siguiente:

$$PIB_{ij} = \frac{\frac{PIB_{ij}}{\sum_i PIB_{ij}}}{\frac{\sum_j PIB_{ij}}{\sum_i \sum_j PIB_{ij}}}$$

donde PIB_{ij} es la producción interna bruta del subsector i del estado j .

Cálculo de correlaciones

Para medir las correlaciones entre los subsectores y sectores tanto secundarios como terciarios se usaron las elasticidades entre éstos; se calcularon con el programa E-views, por el método de mínimos cuadrados, con datos anuales de 2003 a 2011, a precios de 2003, con la siguiente forma funcional lineal:

$$\ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 * \ln X_t + \ln u_t$$

donde $\ln Y_t$ es el logaritmo natural de la variable dependiente (sector o subsector que refleja los efectos de la variación en las variables independientes)

$\ln X_t$ es el logaritmo natural de la variable independiente (sector o subsectores que originan la variación en Y_t)

β_0 es la constante

β_1 es la elasticidad X de Y

$\ln u_t$ es el logaritmo natural del término estocástico.

De la ecuación resultante, β_1 es la elasticidad X de Y, definido por la siguiente propiedad:

$$\ln Y_t = \beta_0 + \beta_1 \ln X_t$$

$$\partial \ln Y_t = \partial [\beta_0 + \beta_1 \ln X_t]$$

$$\partial \ln Y_t = \partial \beta_0 + \partial [\beta_1 \ln X_t]$$

$$\partial \ln Y_t = 0 + \beta_1 \partial \ln X_t$$

$$\beta_n = \frac{\partial \ln Y_t}{\partial \ln X_t} \quad \beta_n = \frac{\partial Y_t / Y_t}{\partial X_t / X_t} \quad \beta_n = \frac{Y}{X} = \varepsilon_{Y/X}$$

donde: Y_t = variable dependiente

BIBLIOGRAFÍA

Bell, D. 1999. *The Coming of Post-industrial Society*. Nueva York: Basic Books.

Bracamonte, A., y O. F. Contreras (coordinadores). 2011. *Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo económico*. Hermosillo: El Colegio de Sonora y Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología.

Carrillo, J., y M. del R. Barajas (coordinadores). 2007. *Maquiladoras fronteras. Evolución y heterogeneidad en los sectores electrónico y automotriz*. México: El Colegio de la Frontera Norte (COLEF), Miguel Ángel Porrúa.

Casalet, M. (coordinadora). 2000. *El desarrollo de la capacidad innovadora de las empresas: el papel del ambiente en la formación y consolidación de las capacidades tecnológicas*. México: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.

Casas, R. (coordinadora). 2001. *La formación de redes de conocimiento: una perspectiva regional desde México*. Barcelona: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Anthropos.

Contreras O., y P. Isiordia. 2010. Local Institutions, Local Networks and the Upgrading Challenge: Mobilizing Regional Assets to Supply the Global Auto Industry in Northern Mexico. *International Journal of Automotive Technology and Management* 10 (2-3): 161-179.

- Cuadrado Roura, J., y A. Maroto. 2012. Análisis del proceso de especialización regional en servicios en España *EURE* 38 (114): 5-34.
- Dutrenit, G. (coordinadora). 2009. *Sistemas regionales de innovación. Un espacio para el desarrollo de las pymes*. México: UAM.
- Freeman, Ch. 2001. *As Times Goes by. From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Gallouj, F., y F. Djellal. 2010. *The Handbook of Innovation and Services*, Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar.
- Hualde, A. (coordinador). 2010. *pymes y sistemas regionales de innovación: la industria del software en Baja California y Jalisco*, México: COLEF y UAM.
- INEGI. 2012. Banco de información económica. cuentas nacionales. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie> (varias consultas en 2012).
- Lara, Arturo. 2007. *Co-evolución de empresas, maquiladoras, instituciones y regiones: una nueva interpretación*. México: Editorial Porrúa.
- Mendoza, J. E. 2011. Impacto de la inversión extranjera directa en el crecimiento manufacturero en México. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía* 167 (42): 45-69.
- Micheli, J. 2008. La empresa informacional emergente: telemercado y *call centers*. En *Conocimiento e innovación: retos de la gestión empresarial*, coordinado por J. Micheli, E. Medellín, A. Hidalgo y J. Jasso, 39-156. México: UAM-A, UNAM y Plaza y Valdés.
- OECD. 2000. *The Service Economy*. Business and Industry Policy Forum Series. París: OECD.
- Oliva, R., y R. Kallenberg. 2003. Managing the Transition from Products to Services. *International Journal of Service Industry Management* 14. <http://www.emeraldinsight.com/0956-4233.htm>
- Rózga, R. 2010. Estudios territoriales: modelos territoriales de innovación; su reflejo y aplicación en México. En *Innovación ante la sociedad del conocimiento*, coordinado por Leonel Corona, 157-177. México: Facultad de Economía, UNAM y Plaza y Valdés.
- Ruiz Durán, C. 2004. *Dimensión territorial del desarrollo económico de México*. México: Facultad de Economía, UNAM.
- Unger, K. 2003. *Los clusters industriales en México: especializaciones regionales y la política industrial*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Valls, J., M. Bernardo y E. Hormiga. 2012. Innovación no tecnológica, competitividad y políticas de apoyo. En *Innovación y crisis. Trayectorias y respuestas de empresas y sectores*, coordinado por J. Micheli, E. Medellín, J. Jasso y A. Hidalgo, 83-100. México: Miguel Ángel Porrúa y UAM-A.

Veltz, P. 1996. *Mondialisation, villes et territoires. L' Economie d' Archipel*. París: PUF.

_____, y P. López de Alba (coordinadores). 2009. *Sistemas de innovación en México, regiones, redes y sectores*. México: CONACYT y Plaza y Valdés.

Villavicencio, D., A. Martínez y P. López de Alba (coordinadores). 2011. *Dinámicas institucionales y políticas de innovación en México*. México: UAM-Xochimilco, CONACYT, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato y Plaza y Valdés.

DE SISTEMA MECÁNICO A SISTEMA TECNOLÓGICO COMPLEJO: EL CASO DE LOS AUTOMÓVILES

Arturo Lara Rivero¹

INTRODUCCIÓN

La investigación relacionada con el sector automotriz se ha concentrado en la descripción de la naturaleza mecánica de los vehículos (Abernathy 1978; Fujimoto 1999; Womack et al. 1990; Shimokawa 2010),² y muy poco en el estudio de la naturaleza electrónica de los automóviles nuevos (Nishiguchi 1994; Klier y Rubenstein 2008). Para dar cuenta de las transformaciones ocurridas en las últimas cuatro décadas, es necesario integrar en la explicación la manera en que los componentes y los sistemas electrónicos han transformado la naturaleza de los vehículos automotores. Cabe decir que 90 por ciento de la innovación de la industria automotriz se relaciona con ellos, de los cuales 80 por ciento están vinculados al *software* (Hardung et al. 2008).

Hasta la década de 1960, un vehículo convencional estaba básicamente conformado por componentes mecánicos; la integración de los electrónicos inició su ascenso en los años setenta. Si se compara un auto típico de los sesenta con los actuales, las diferencias cuantitativas son significativas pero, sobre todo, son más profundas las transformaciones cualitativas. En promedio, un auto nuevo integra más de 40 unidades de control electrónico (ECU, por sus siglas en inglés), 8 mil metros de cables y más de 10 millones de líneas de código de *software* (Klier y Rubenstein 2008). Por esta razón, se puede afirmar que el vehículo actual se parece cada vez más a una computadora y cada vez menos a los diseños surgidos a principios del siglo XX. Esta capacidad nueva, para procesar información y adaptarse al ambiente, convierte a este sistema complejo en uno complejo adaptable.

Podría decirse que las fuerzas determinantes de la evolución de los componentes electrónicos automotrices han sido una presión permanente para mejorar los estándares tecnológicos, en una industria caracterizada por una competencia agresiva y por la obligación de ofrecer diseños novedosos que permitan consolidar una ventaja competitiva. En esa dirección, se advierte que la industria tiende a incorporar piezas pequeñas, de bajo costo, confiables, resistentes, no sensibles a las altas temperaturas y a la vibración de los

¹ Profesor-investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) -Xochimilco. Coordinador del Programa de Estudios Complejidad, Cognición e Instituciones (www.pecci.mx). Correo electrónico: alararivero35@gmail.com

² Por supuesto que la lista de trabajos es mucho más extensa; sólo se citan algunos. Es preciso señalar que son muy numerosos los estudios sobre los automóviles, desde la perspectiva de la ingeniería mecánica, eléctrica o electrónica. La presente investigación integra algunas de estas últimas descripciones dentro del programa de la teoría de los sistemas complejos adaptables (Holland 1996).

motores de combustión o de las condiciones de operación de las carreteras. Esto ha propiciado el desarrollo de componentes electrónicos, que cumplen con las especificaciones arriba enlistadas, implicando que poco a poco van adquiriendo mayor relevancia. Es decir, la confianza que proporcionan alienta la incorporación de estos sistemas complejos al funcionamiento de los autos.

El objetivo de este trabajo es describir y analizar la naturaleza de los procesos evolutivos implicados en la transición del vehículo automotor, de un sistema complejo a uno complejo adaptable. Las preguntas centrales que se busca contestar son: a) en la reconstrucción de la trayectoria tecnológica de los automóviles, ¿qué función cumple la existencia de los ritmos de cambio tecnológico?; b) ¿cómo se explica la emergencia de niveles jerárquicos en la evolución de la red de componentes electrónicos?, y c) ¿cuáles son los atributos que permiten caracterizar a los autos nuevos como sistemas complejos adaptables?

Primero se sintetizará, de manera breve, los determinantes más importantes que explican el uso de componentes electrónicos. Luego se reconstruirá la trayectoria que ha seguido la sustitución de partes mecánicas por las electrónicas y, asociado a ello, la emergencia de una densa red de cables y conectores (arneses), que permiten el flujo de información y energía. Se analizarán dos consecuencias de la convergencia: una mayor demanda de energía y de información, y todos estos elementos permiten dar cuenta de la transformación cualitativa y cuantitativa en los vehículos. Un fenómeno central en esta historia es la transición de la “integración de componentes”, a la “integración de sistemas”, y con ello la emergencia de la jerarquía. Por último, se analizarán algunas vías, que están utilizando las empresas del sector automotriz, para enfrentar la complejidad y la vulnerabilidad de los sistemas electrónicos.

CONVERGENCIA DEL SECTOR AUTOMOTRIZ CON EL SECTOR ELECTRÓNICO

De 1960 a 1969, las empresas automotrices experimentaron el uso de componentes electrónicos. En 1960, Electric Autolite y Delco-Remy iniciaron con los transistores, con el propósito de regular la energía eléctrica de los interruptores (*breaker points*). En 1961, Joseph Lucas, Ltd., patentó el encendido transistorizado, que eliminó la vieja tecnología de los interruptores. En 1963, Delco introdujo, de una manera comercial, el encendido transistorizado en los modelos Pontiac (Abernathy 1978).

En este periodo resultó difícil la integración de los componentes electrónicos; la industria requería los pequeños, de bajo costo, confiables, resistentes, no sensibles a las altas temperaturas y a la vibración de los motores de combustión o de las condiciones de las carreteras. Los componentes grandes, como los “bulbos al vacío” (*vacuum tube*), son pesados, voluminosos, frágiles y añaden calor al sistema. Los bulbos son incapaces de operar en el ambiente hostil de un motor de combustión interna, debido a los gases y la elevada vibración y temperatura (200° Fahrenheit) del motor (Porter 1983). Era necesario mejorar la tecnología de dichos elementos, con diseños nuevos.

Con el desarrollo de los microprocesadores o ECU comenzó una fase comercial acelerada de integración. A inicios de la década de 1970 se introdujo el sistema electrónico de inyección de combustible. Después el proceso ya no se detuvo: aire acondicionado automático (1971); sistema electrónico de control de frenos (1971); encendido electrónico (1973), etcétera (Abernathy 1978).

La integración de los componentes electrónicos se produjo como resultado de: a) la intensa competencia en el sector por producir vehículos con atributos novedosos; b) las exigencias gubernamentales de disminuir la emisión de contaminantes, lo cual se convirtió en un mecanismo poderoso de convergencia, el ejemplo paradigmático es la transición del carburador al sistema electrónico de inyección de combustible (*fuel injection*); c) las mayores exigencias de seguridad de los usuarios y de los gobiernos de países desarrollados provocaron la transformación de áreas funcionales del vehículo, por ejemplo las bolsas de aire, el sistema de

frenos controlado electrónicamente, etcétera; d) los usuarios demandaban autos con mayor confort y entretenimiento (reproductor de discos compactos, televisor, iPod, información del sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés), entre otros; e) a partir de la crisis energética de principios de los años setenta y el incremento en los precios del petróleo, el mercado se inclinó por vehículos que economizan combustible, situación que condujo a reemplazar el carburador y los sistemas mecánicos (pesados) por los electrónicos; f) la necesidad de resolver desequilibrios de la vieja tecnología, asociada a la mecánica, que sólo el nuevo paradigma de la electrónica podría resolver, antes era imposible contar con un sistema de encendido más eficiente y de bajo mantenimiento,³ sin embargo el electrónico lo hizo; g) el incremento en la confiabilidad y la calidad de los componentes electrónicos alentaron la incorporación de sistemas nuevos y más complejos, que cumplían con más funciones y h) la madurez de los procesos de manufactura y ensamble de los componentes electrónicos permitió el diseño de éstos, y que fueran altamente específicos. Como es el caso de la producción del sistema electrónico de inyección de combustible, toda vez que para fabricarlo se requiere maquinaria de alta precisión y confiabilidad⁴ (Abernathy 1978; Porter 1983; Lara 2000).

¿De qué manera esta convergencia ha transformado la estructura de costos de los vehículos? El valor promedio de los componentes electrónicos por vehículo en 1977 era de 110 dólares americanos, 5 por ciento del costo total de materiales y piezas para el fabricante (Leen y Hefferman 2002). Para el año 2000, 20 por ciento del costo se relacionaba con los componentes electrónicos (Murray 2009), es decir, 1 800 dólares (Leen y Hefferman 2002); en la actualidad su costo representa más de 40 por ciento del total de un vehículo promedio (Klier y Rubenstein 2008), y en los híbridos, el peso de éstos en la estructura de costos es aún mayor. El contenido electrónico (la batería y su sistema de control) vale de 5 900 a 7 800 dólares, esto es, de 40 a 50 por ciento de su costo total (Alliance Bernstein 2006). La sustitución de partes mecánicas por electrónicas originó un cambio importante en la estructura de costos, que se describe a continuación.

SUSTITUCIÓN DE PARTES MECÁNICAS POR COMPONENTES ELECTRÓNICOS

El reemplazo de sistemas mecánicos e hidráulicos por componentes eléctrico/electrónicos (E/E) se describe con el término genérico *x-by-wire*. Se ha identificado la sustitución de más de nueve funciones relacionadas con la aceleración, frenado, cambio de velocidades, suspensión, integración encendido/alternador, control variable de válvulas, convertidor catalítico y dispositivos eléctricos, así como con otros accesorios eléctricos.

Uno de los primeros sistemas en utilizar las ECU fue el de frenos ABS, en 1978. En 1989 se integraron los sistemas electrónicos de control de la tracción y en 1995 los programas de estabilidad. El primer componente *x-by-wire* introducido al mercado fue el “acelerador-por-cable”, a fines de los años noventa y principios del año 2000 (Anwar 2009);⁵ y el de freno electro-hidráulico, como una forma de “frenos-por-cable”, se introdujo en 2000-2001 (Higgins y Koucky 2002).⁶

De 1978 a mediados del año 2000 se integraron nueve subsistemas, ocho combinaban sensores, unidades tanto de control electrónico como hidráulico; los frenos electromecánicos incluían sensores, ECU y solenoides (Leen y Hefferman 2002). El resultado de este proceso fue el aumento acelerado del número de

³ El antiguo sistema de encendido *breaker-point* requería mantenimiento periódico y no siempre se desempeñaba bien a altas velocidades o en ambientes fríos. El de encendido electrónico reemplazó a los *breaker-points* por elementos magnéticos y transistores, así se eliminaron las deficiencias.

⁴ Requiere tolerancias de 1 a 1.5 micrones (Porter 1983).

⁵ Bosch, Continental y TRX introdujeron un sistema de frenos por cable (Anwar 2009).

⁶ Introducido por Mercedes Benz serie SL, pero fue removida años más tarde debido a problemas (Higgins y Koucky 2002).

partes electrónicas. En promedio, un vehículo utilizaba entre 30 y 45 ECU, y los automóviles de lujo más de 70 (IHS Global Insight 2009). En la actualidad, un auto típico de Ford contiene 60 ECU, en tanto que hace 15 años contenía apenas 15 (Barkholz 2010).

Comparado con el sistema mecánico, el electrónico *x-by-wire* tiene varias ventajas: es pequeño, ligero y menos costoso, lo que contribuye a liberar espacio para otras aplicaciones, al disminuir costos y responder a la demanda de mayor eficiencia en el uso del combustible. De acuerdo a los fabricantes, es más seguro, sensible y fiable.⁷

Así, el sistema de dirección-por-cable (*steering-by-wire*) sustituyó al tradicional de dirección hidráulica, con un motor eléctrico y un controlador electrónico de la tolerancia a fallos, que ya no es alimentado por el motor sino por la batería, lo cual mejora la eficiencia del combustible y a la vez incrementa la importancia funcional de la batería. Este es el aspecto clave que explica por qué, con la adopción de más sistemas *x-by-wire*, la batería es cada vez más importante.

Paradójicamente, el uso de componentes E/E contribuyó a disminuir, pero también a incrementar el peso total de los vehículos. El sistema de frenado-por-cable es 13 kilos más ligero que uno de frenos hidráulico (Floercke 2007). En efecto, de 1976 a 1981, los vehículos se hicieron más ligeros: de 1 814 a 1 451 kilos (Kromer y Heywood 2007).⁸ Sin embargo, de 1981 a 2005, el peso volvió a subir en 28 por ciento (de 1 451 a 1 859 kilos) (Ibid.). El mercado demanda más funciones –con contenido elevado de partes E/E– cuyo resultado no deseado es el aumento del peso.

El proceso no termina ahí; un auto más pesado requiere mayor volumen de energía, y dependiendo del tipo de conducción, entre 2 y 10 por ciento del consumo de combustible se debe a la demanda de poder de los componentes E/E (Christ 2008). En consecuencia, se requiere diseñar sistemas de administración de energía cada vez más sofisticados, lo que implica añadir mayor complejidad, peso y costo a los vehículos. Desde esta perspectiva, la evolución de los sistemas tecnológicos complejos sólo se puede explicar si se logra reconstruir la naturaleza de los desequilibrios tecnológicos; la mejora en un subsistema produce tensiones en otros (Rosemberg 1982). Una de las primeras implicaciones del proceso de sustitución de partes mecánicas por las E/E es la construcción de una red extensa y compleja, que permite el flujo de información y energía.

El vehículo convencional de combustión interna, vigente de 1900 a 1970, se definía por su núcleo clave de partes mecánicas relativamente complejas. Un sistema así estaba integrado por entidades interdependientes, que interactuaban dentro de una estructura o red y que seguían reglas fijas. Esta característica define bastante bien al sistema mecánico de este primer periodo. El vehículo actual procesa información mediante microprocesadores. Si bien es cierto que todavía utiliza un motor de combustión, sus funciones esenciales dependen de sistemas electrónicos avanzados. La naturaleza profunda de los vehículos se transforma cuando se integran microprocesadores, que tienen la capacidad de procesar información del entorno mediante sensores y solenoides, para responder o adaptarse a las condiciones variables del ambiente. Esta transformación cualitativa es característica de la transición de los vehículos, de los sistemas tecnológicos complejos a los tecnológicos complejos adaptables.

CONSECUENCIA DE LA CONVERGENCIA: EXPANSIÓN DE LA RED DE ARNESES

El uso de dispositivos electrónicos ha conducido a la emergencia de una red extensa, pesada y costosa de arneses (cables y conectores). La creciente demanda del mercado por sistemas de entretenimiento ha forzado

⁷ Como se verá más adelante, la seguridad de los sistemas E/E, sobre la que descansa el desempeño de los *x-by-wire*, resulta limitada.

⁸ Una reducción de 10 por ciento en el peso resulta en 3 a 4 por ciento de mejoramiento en la economía de combustible (California Energy Commission 1997).

a los fabricantes a introducir cientos de metros adicionales de cable. En un vehículo de pasajeros típico, el número de cables eléctricos del panel de instrumentos se duplicó de 70, en 1971, a 140, en 1985 (Nishiguchi 1994). En 1994, el total de éstos para el Toyota Crow era de mil, y entre 1 500 a 1 600 para el Toyota Soarere, que son modelos de lujo (Ibid.).

En la actualidad, un vehículo puede contener más de mil cables separados (Denton 2004), y más de 8 mil metros de cables, comparado con los 45 metros de los manufacturados en 1955 (Klier y Rubenstein 2008). Mientras que en 1910 un automóvil contenía alrededor de 30 circuitos; el de 1970 y del año 2000 integraban 300 y 1 800 respectivamente (Rundle 2002). ¿Cuáles son las consecuencias de la expansión compleja de la red de los arneses? A continuación se incluyen algunos de los efectos más importantes.

- La integración de partes electrónicas trajo consigo un mayor volumen de cables y por ende de peso. El cableado es el tercer componente más pesado y caro en un vehículo (IHS Global Insight 2009).⁹ Los arneses de 4 828 metros agregan entre 20 a 29 kilos al peso del automóvil; en los de lujo, el peso es mucho más (Murray 2009).¹⁰ Cada 50 kilos de cables o 100 *watts* de poder extra incrementa el consumo de combustible en 0.2 litros por cada 100 kilómetros de recorrido (Leen y Hefferman 2002, 88). De esta forma, el mayor peso de los arneses se refleja en una ventaja competitiva de las empresas, como es la posibilidad de ofrecer vehículos con mejor rendimiento: más kilometraje por litro de combustible.
- Una red E/E en expansión demanda más espacio para los cables y sus conectores asociados. El mayor volumen de los arneses resta espacio y funcionalidad, puesto que el espacio físico dentro del vehículo es finito, los ingenieros están obligados a diseñar arneses en espacios cada vez más reducidos. Situación que incrementa las posibilidades de fricción, electromagnetismo, cortocircuitos e inestabilidad en el flujo de información y energía. Además de estas condiciones internas, está presente la interacción con un ambiente externo variable y extremo. Una red más extensa en un espacio limitado crea condiciones cada vez más vulnerables. Por otro lado, la complejidad de los arneses conduce a otros problemas, como el diagnóstico de fallas y la dificultad para hacer casi cualquier modificación.
- Los cables actuales sólo pueden trabajar con menos de 60 voltios, lo cual resulta insuficiente para los vehículos nuevos que utilizan sistemas *x-by-wire*, puesto que usan alto voltaje. Como es el caso de los híbridos, que trabajan con 600 voltios (Wichmann 2008). Tanto en los convencionales, que emplean *x-by-wire*, como en los híbridos y eléctricos se requieren cables con otros estándares de aislamiento que disminuyan las posibilidades de contacto-tierra, lo cual tiene consecuencias críticas para los ocupantes (Reiman y Männel 2008). Las empresas necesitan establecer nuevas normas y estándares de diseño y fabricación de los cables y conectores.

¿De qué manera las empresas automotrices están enfrentando la creciente complejidad de los arneses? El diseño convencional dominante –un componente electrónico, un cable– utilizado hasta mediados de 1980, resulta totalmente impráctico. Para reducir la complejidad de la gran cantidad de cables, se están adoptando estrategias diferentes.

⁹ En un vehículo promedio el valor de los cables es de 315 dólares americanos, y de 757 en uno de lujo (Chew 2004).

¹⁰ De acuerdo con Murray (2009), los fabricantes de automóviles de lujo no quieren hablar del peso de éstos, sólo de que quieren perder peso.

- El diseño del sistema multiplexor permite que un mismo cable pueda transmitir distintos paquetes de información; toda vez que por ellos se transporta energía y datos. Los fabricantes y proveedores reemplazan los cables de cobre por la fibra óptica, así trabajan con banda ancha y reducen el peso de los arneses. Otras ventajas de la fibra óptica son su alta capacidad de transmisión, su insensibilidad a la interferencia electromagnética, así como su ligereza y pequeñez (Lara 2000).¹¹
- Transitar a un sistema eléctrico de 42 voltios, pues el de 12 utiliza arneses complejos y pesados, lo cual plantea restricciones a la expansión de nuevos componentes E/E. Un vehículo convencional que trabaja con 12 voltios contiene dos kilómetros de cable, y pesa más de 30 kilos (Giral Castellón et al. 2005). Uno de los grandes beneficios de adoptar los de 42 voltios es disminuir la dimensión física de los cables en un tercio de la actual y reducir el tamaño de los conectores (Rundle 2002); así, disminuye el peso y costo de los arneses. Liberar espacio facilita el ensamble de los componentes E/E.
- Diseñar formas de administración de energía e información relativamente centralizadas, vía protocolos de información *bus*, le permitió a BMW reducir en 15 kilos el peso de los arneses en sus automóviles de cuatro puertas (Leen et. al. 1999). El uso de protocolos de información –y de las ECU asociadas– más desarrollados permite diseñar arneses más ligeros, seguros y compactos.

En la evolución de los arneses es posible identificar tres generaciones: a) la primera tiene la función principal y exclusiva de conducir electricidad; b) en la segunda la carretera de cables conduce electricidad e información, y se caracteriza por un cable/una señal y c) la tercera cuando un cable puede transmitir más de una señal (sistemas multiplexores). Esta evolución debe explicarse a través de la magnitud y el ritmo de crecimiento de las funciones, así como con el número de componentes electrónicos asociados a ellas.

CONSECUENCIA DE LA CONVERGENCIA: MAYOR DEMANDA DE ENERGÍA

Durante la primera mitad del siglo XX se incorporaron pocos componentes, predominantemente eléctricos, a los automóviles; entonces, la batería de 6 voltios era suficiente. Sin embargo, para enfrentar el creciente número de partes eléctricas, la batería de 12 voltios se convirtió en estándar en la década de 1950 (Abernathy 1978) y dominó durante los últimos 50 años (Crouch 2005). Con la incorporación de componentes electrónicos, a partir de 1970, se estima que la demanda de poder en los vehículos convencionales creció en 4 y 5 por ciento anual (Klier y Rubenstein 2008; Leen y Hefferman 2002).¹² Los sistemas *x-by-wire* requieren 42 voltios, y los nuevos vehículos híbridos, de 240 a 300 (Anwar 2009).

En la medida que aumenta el consumo de energía eléctrica y se necesitan voltajes mayores, el estándar de 12 voltios se convirtió en un cuello de botella, ya que difícilmente puede sostener la demanda de voltajes mayores y diferenciados de una red extensa de componentes E/E. Aunque la presión ha tendido a disminuir, como resultado de la eficiencia en el diseño de cables y circuitos, todo indica que la demanda de energía seguirá creciendo (Alliance Bernstein 2006).

¹¹ Las empresas automotrices asiáticas están adoptando el sistema MOS (que es un protocolo de comunicación *bus*), para escalar a formas más eficientes de distribuir información, sin transitar necesariamente del cobre a la fibra óptica (Sostawa y Schöpp 2009).

¹² Este dato puede ser conservador, puesto que sólo la computadora de viaje consume 2kW (Miller 1996).

En 1990, un grupo de empresas del sector automotriz buscó transitar a los 42 voltios (Crouch 2005). Sin embargo, este estándar no prosperó, en parte porque el sistema eléctrico de 12 voltios se volvió más eficiente (Truett 2004), y porque los costos de cambio resultaban elevados, y no es factible que una sola empresa los asuma, puesto que se requiere crear estándares nuevos, que implican un gran y costoso rediseño de los componentes eléctricos. La migración de 12 a 42 voltios puede implicar el rediseño total o parcial de las partes eléctricas, a través del establecimiento de un sistema de voltaje múltiple, el cual puede estar alimentado por una batería, o por la coexistencia de varias con voltajes distintos. Existen posibilidades de transición tecnológica, y cada una tiene ventajas y desventajas. La adopción de un nuevo sistema eléctrico no es sólo un problema de costos o de conocimiento científico y técnico, sino también de coordinación y cooperación entre los fabricantes y los proveedores.¹³

CONSECUENCIA DE LA CONVERGENCIA: PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

En 1969, el Apolo 11 empleó poco más de 150 *kilobytes* de memoria para ir a la Luna; 30 años después, un vehículo convencional puede demandar 500 *kilobytes* sólo para el funcionamiento del reproductor de disco compacto (Powers 2001). La capacidad de cómputo de los microprocesadores utilizados por los automóviles convencionales ha crecido exponencialmente, de alrededor de 1 millón de transistores en los modelos de 1997, a 30 millones en los actuales (Lipman 2004). En años recientes, el monto de memoria asociado a cada microprocesador se ha incrementado con rapidez, de 256 *kilobytes*, entre 1996 y 1997, a 2 *megabytes* o más (Powers 2001).

La capacidad de procesar información de los componentes electrónicos se produce con arreglo a una jerarquía; en el nivel más alto se encuentra el “núcleo electrónico” del vehículo, esta categoría clave es responsable de controlar o mejorar las funciones básicas como aceleración, frenado, dirección, etcétera. En un segundo plano está el núcleo electrónico del sistema, donde se distinguen dos categorías: a) los sistemas electrónicos, que proveen servicios de comunicación entre sistemas, como los protocolos de comunicación *bus (software)*, utilizados para el flujo de información entre las ECU y b) los sistemas electrónicos que usan formas sofisticadas de coordinar las ECU, los sensores y los actuadores, para realizar una función específica como los sistemas *x-by-wire* y los programas de estabilidad electrónica, entre otros. Se abundará sobre este tema más adelante. En lo más bajo de la jerarquía se encuentran los “productos electrónicos”, que no desempeñan funciones básicas, sino que proveen beneficios a los conductores en términos de confort, conveniencia, entretenimiento e información (véase [figura 1](#)).

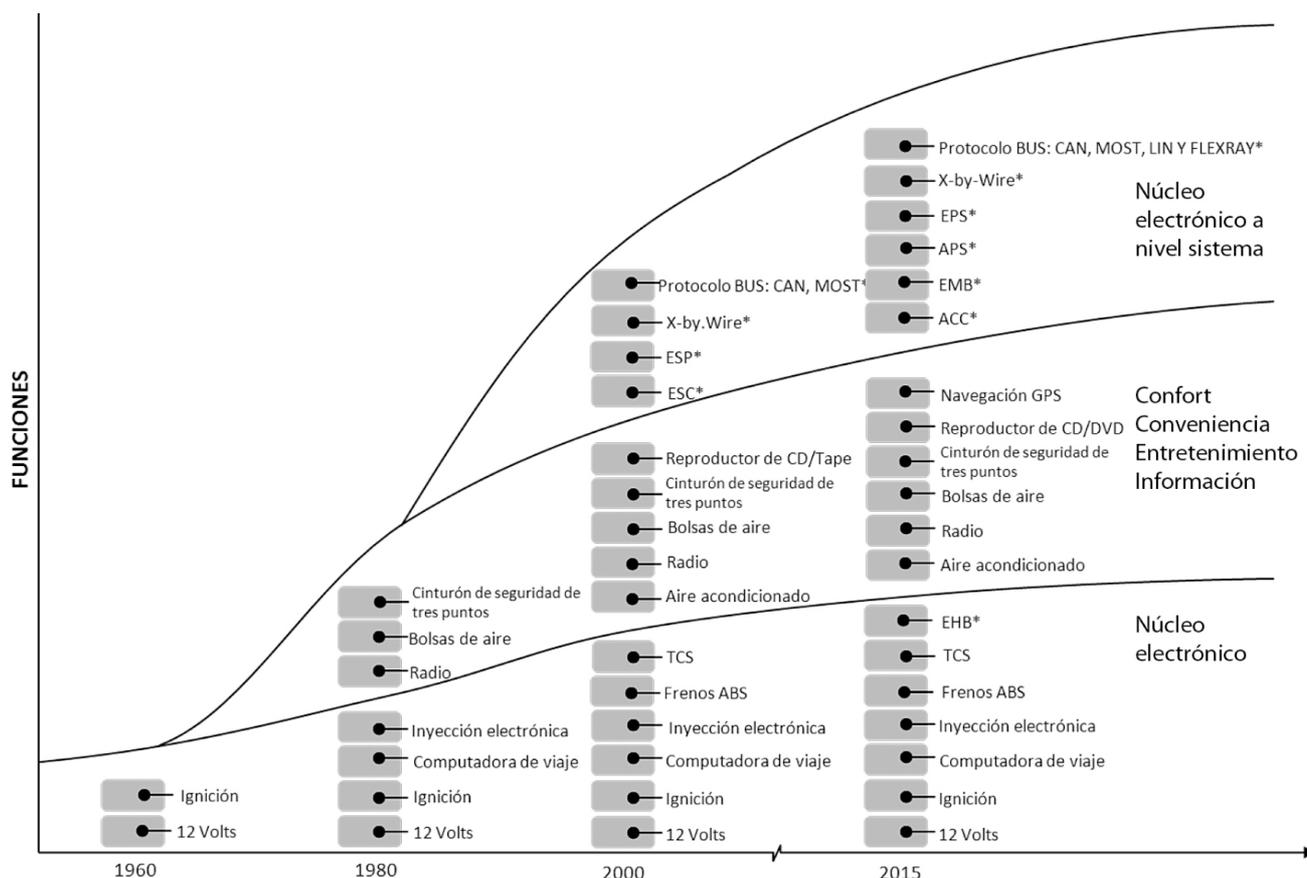
El cerebro del “núcleo electrónico” son las ECU, y un automóvil de tamaño mediano utiliza 40 de ellas (Klauda y Lauff 2008). Dichas unidades son computadoras pequeñas,¹⁴ conectadas a sensores y solenoides, y controlan uno o más sistemas eléctricos o subsistemas.¹⁵ Las ECU colectan, guardan y presentan la información sobre el desempeño de los vehículos, como la velocidad, la presión del aceite, la temperatura del motor y la distancia recorrida. Esto se efectúa a través de sensores incrustados en componentes clave. Con base en esos datos, las ECU determinan las condiciones óptimas para que el solenoide opere funciones específicas, como regular el flujo de aire (calor dentro del vehículo, entre otras).

¹³ Existen dos bloques de empresas que impulsan esta transición, el Consortium and Advanced Automotive Electrical / Electronic Components and Systems, donde participan Daimler, Honda, Mitsubishi Electric, Nissan, Toyota y Yazaki, entre otros, organizado en 1996 y otro grupo europeo liderado por Daimler.

¹⁴ El costo de una ECU varía de 10 a 15 dólares (Hansen Report 2009).

¹⁵ Las ECU son de distintos tipos, y están asociadas a los siguientes módulos de control eléctrico del motor: el de la transmisión; del frenado; el central; el de tiempo central; el electrónico general; el del chasis; el de la suspensión, el de control y el del sistema de propulsión.

Figura 1
Innovación y evolución de las funciones electrónicas en un automóvil



Notas: ABS - Sistema de frenos antibloqueo; ESP - Programa electrónico de estabilidad; TCS - Sistema de control de tracción; EHB - Frenos electro hidráulicos; ESC - Control electrónico de estabilidad; CAC - Control de navegación adaptable; EPS - Sistema dirección electrónica; EMB - Frenos electro mecánicos; APS - Dirección asistida; x-by-wire Incluye: Conducción-por-cable, Dirección-por-cable, Frenos-por-cable, Transmisión-por-cable y Suspensión-por-cable; CAN - Controlador de área de Red; LIN - Red de interconexión local; MOST - Medios de comunicación orientada a transporte de sistemas; FLEXRAY - Protocolo de comunicación BUS.
* En desarrollo.

Fuente: elaboración propia, a partir de Bauer (2007); Ingraham (1957); Paret (2007); Jones (2011); Mcintosh (2012); Rendle (1991); Freescale (2004); Bernstein (1988); Oxer y Blemings (2009); Rundle (2002); Brauer (2002) y Trevett (2002).

La computadora más poderosa es la ECU del motor (*ignition*), encargada de la inyección de combustible, del tiempo de la ignición, del control de velocidad de ralentí, del tiempo de encendido, etcétera. Los módulos de control del motor procesan más de 250 millones de instrucciones por segundo, las cuales contienen más de 20 mil parámetros requeridos para administrar las complejas y críticas tareas del funcionamiento del motor (Klauda y Lauff 2008). El módulo de control del sistema de propulsión actual demanda 550 veces más memoria que los primeros, que podían efectuar sólo 2 mil operaciones por segundo (Bogden 2004). La capacidad de procesamiento de información ha crecido de manera exponencial.

La tendencia en la industria automotriz es a la fabricación de las ECU, en la que un *software* sofisticado se incrusta en un *hardware* que tiene un propósito especial, y busca el máximo desempeño simultáneo del *software* y del *hardware*. Las ECU con *software* incrustado se diseñan para que los sistemas interactúen con el mundo, y para utilizarse en operaciones en “tiempo real”. Dicho *software* se usa en aviones y misiles, entre otros (Lee

2002; Ebert y Jones 2009).¹⁶ Esta clase de dispositivos inteligentes explica también la transformación de los vehículos actuales en sistemas complejos adaptables. Sin embargo, no todos los sistemas de procesamiento de información se desempeñan en tiempo real. En un vehículo existen tres clases de requerimientos de transmisión de información (Bonnik 2001): a) clase A: de velocidad baja (10 mil *bits/s*), usada para el cableado del cuerpo del automóvil, como las lámparas exteriores, etcétera; b) clase B: de velocidad media (de 100 mil a 125 mil *bits/s*), usada en los controles de velocidad y de emisiones y c) clase C: de velocidad alta en tiempo real (de 125 mil a un millón de *bits/s* o más), empleada por el freno-por-cable, por el control de estabilidad y por la tracción.

La tendencia hacia procesos computacionales de clase C son cada vez más importantes, sobre todo en el funcionamiento de: a) los sistemas *x-by-wire*, en particular en los de seguridad y b) en determinados subsistemas E/E de los autos híbridos y eléctricos, que se desempeñan en tiempo real.

Esta descripción de los procesos de cambio, asociados a las nuevas capacidades de procesamiento de información, permite representar uno de los fenómenos centrales que explican la transformación de los vehículos convencionales en sistemas complejos adaptables. La pregunta que se debe contestar en la siguiente sección es: ¿cómo explicar y vincular la diversidad de componentes con la emergencia de la jerarquía y con las nuevas capacidades de adaptación del sistema?

DE LA INTEGRACIÓN DE COMPONENTES A LA INTEGRACIÓN DE SISTEMAS: SURGIMIENTO DE LA JERARQUÍA

Lo que permite la transformación de un vehículo convencional en un sistema complejo adaptable son las ECU, en cuyo proceso evolutivo se pueden identificar cuatro momentos y generaciones.

- Una primera generación se produce a través de la integración de las ECU de manera aislada. Desde 1970 hasta mediados del año 2000, conforme se fueron requiriendo, se integraron nuevas funciones E/E, se agregaron al vehículo las ECU interconectadas en forma débil. Esta generación desempeñaba una sola función, como la inserción aislada del control electrónico de los frenos (sistema ABS), que se incluyó en 1970 (Anwar 2009). De esta manera fue creciendo un sistema tecnológico sobrecargado de las ECU independientes –y de cables también– pero con débil o nula interconexión entre ellas. En la actualidad, en un vehículo coexisten al menos 80 ECU de manera independiente (Bauer 2007). Este fenómeno evolutivo caracteriza a toda la gama de vehículos del sector automotriz. Uno de los problemas que impiden la evolución sostenida del sistema E/E se relaciona con la coexistencia de una diversidad de *softwares* (véase el inciso a) de la [figura 2](#)).
- La segunda generación evolucionó hacia mayor conectividad, cuando se construyeron interfaces (*buses*), que permitieron la comunicación entre las ECU (como las especializadas en distintas funciones del motor) (véase el inciso b) de la [figura 2](#)). La necesidad de sistemas sofisticados de comunicación entre las ECU ha convertido al *software* en la columna vertebral de los vehículos. Los protocolos de comunicación (*buses*) más comunes en el sector automotriz son: *controller area network* (CAN),¹⁷ *local interconnect network* (LIN), MOST, SAE J1850 y FlexRay (Lovati 2009). Aunque los protocolos de comunicación han alcanzado cierto grado de madurez en términos de implementación, el incremento de funciones dentro de un vehículo requiere agregar un número cada

¹⁶ No existe un diseño dominante de sistemas operativos que trabajan en tiempo real, sino muchos, por ejemplo: Lynxos, VxWorks, Linux, OpenWrt, Pikeos, ECOS, Bertos, Threadx, Windows CE, Fusion RTOS, Nucleus RTOS, TEMS, Integrity, QNX y OSE.

¹⁷ El protocolo CAN fue desarrollado a principios de 1990. La primera empresa en integrarlo en el chasis fue Opel, en 2004 (IHS Global Insight 2009).

vez mayor de ellos. Existen distintas vías para administrar esta población¹⁸ numerosa y heterogénea de protocolos de comunicación. La estandarización permitiría desarrollar en menos tiempo el *software* de un vehículo, así como facilitar el reuso (e intercambiabilidad) de los módulos de *software* entre los modelos, y así disminuir costos y simplificar el proceso de integración de funciones nuevas. Sin duda existen problemas sustantivos que para un agente sería difícil asumir de manera individual y sin conflicto.¹⁹

En esta perspectiva, Toyota y Nissan crearon Japan Automotive Software Platform and Architecture,²⁰ uno de cuyos objetivos centrales es reducir el costo de desarrollo y mejorar la calidad del *software* del sistema electrónico. Una vía para alcanzar esta meta es transitar a una arquitectura modular de *software* y a la estandarización, que permita reutilizarlo. De acuerdo con el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón, se estima que la industria automotriz japonesa gasta en desarrollo de *software* alrededor de 100 billones de yenes (903 millones de dólares americanos) (Hofman 2004). Esto es diez veces más de lo que se gastaba hace diez años, y se espera que para 2014 este monto sea de un 1 trillón de yenes (9.1 billones de dólares americanos) (Ibid.). En esta misma carrera de cooperación se creó AUTOSAR, en la que participan empresas europeas, norteamericanas y japonesas.²¹

- La tercera generación emerge cuando las ECU son capaces de controlar y administrar un número reducido de funciones, e integra las de requerimientos similares, constituyendo así un dominio más elevado de las ECU relacionadas (véase el inciso c) de la [figura 2](#)). Se abren las posibilidades de diseñar de manera modular sistemas cada vez más importantes de la arquitectura del vehículo. Por ejemplo, el objetivo del sistema de seguridad 7-series de BMW es lograr la respuesta en tiempo real de las 13 ECU asociadas a funciones distintas: disparo de bolsas de aire, tensión de los cinturones de seguridad, activación de los apoyos de cabeza y el sistema de seguridad pasivo (IHS Global Insight 2009, 3).²² Así mismo, la “conducción-por-cable” integra cinco sistemas: de prevención de colisiones, control de cruceo adaptable, dirección frontal adaptable, control de estabilidad y advertencia de las condiciones del camino.

En la medida que se integran más subsistemas electrónicos, relacionados con funciones críticas – frenado, dirección, suspensión, etcétera–, se incluyen los protocolos de comunicación de alta velocidad, capaces de responder en tiempo real: requerimiento clase C. Un vehículo mediano cuenta con 30 ECU, en tanto que uno de lujo tiene 80, las cuales cubren una amplia variedad de funciones (Ibid.). Para responder a esta demanda, un vehículo requiere entre cuatro y cinco *buses* CAN (Ibid., 3).

Aunque la implementación de protocolos de comunicación (*buses*)²³ ha reducido de manera significativa la complejidad de los arneses, la arquitectura de red de un automóvil mediano ha alcanzado un estado en el que es casi imposible lidiar con su complejidad.

¹⁸ Por ejemplo la iniciativa HIS, propuesta por los desarrolladores de *software*, o la Automotive Open System Architecture (AUTOSAR), propuesta por una sociedad de desarrolladores cuyo objetivo es estandarizar las interfaces del *software*, así como diseñar el *software* de manera modular.

¹⁹ Los proveedores pueden ver el proceso de estandarización como una amenaza a su estabilidad, porque les permitiría a las empresas ensambladoras cambiar fácilmente de proveedor. Desde esta perspectiva, esta opción parece la menos viable.

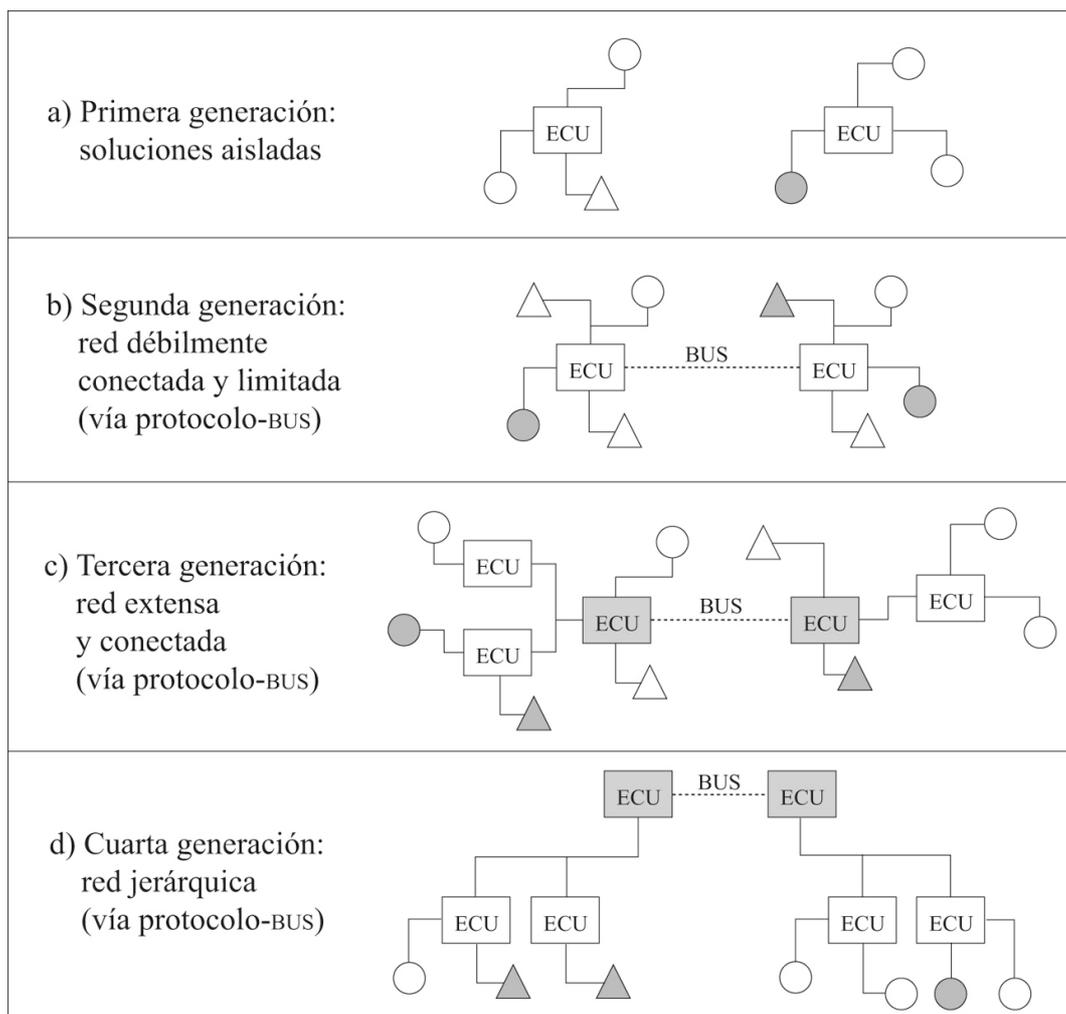
²⁰ Otros miembros clave son Honda, Denso y Toyota Tusho Electronics.

²¹ Los miembros clave son BMW, Bosch, Continental, DaimlerCrysler, Ford, PSA Peugeot Citroen, Siemens, Toyota y Volkswagen.

²² BMW desarrolló este protocolo en conjunción con Motorola, Infineon y Elmos.

²³ Un protocolo de comunicación *bus* es una red especializada que permite la interconexión de los componentes electrónicos; debe asegurar una distribución de información segura, a bajo costo y en el menor tiempo.

Figura 2
Niveles de la red de las ECU



ECU: unidad de control electrónico
BUS: protocolo de comunicación *BUS*

Fuente: elaboración propia, a partir de Mischo et al. (2008, 10-13).

- En este contexto de necesidades surgieron las ECU de cuarta generación, que pueden combinar múltiples funciones en una sola unidad, lo que en consecuencia disminuye el número de las ECU; la meta de las empresas del sector automotriz es reducirlas, de 40 a 20 (Murray 2009; Viehmann 2009); esta reducción se busca a través de las ECU más poderosas. Conforme estas unidades se incorporan en los vehículos eléctricos e híbridos, se requiere construir una cantidad cada vez más grande de ellas, y que sean más sofisticadas y especializadas, lo que explica la emergencia de un sistema jerárquico (véase el inciso d) de la [figura 2](#)).

Todas estas condiciones de refinamiento de las ECU permiten escalar a formas nuevas de integración de piezas electrónicas. Desde inicios del año 2000 se transita de la integración de innovaciones, que implican un componente/una función, a una que demanda la interacción de componentes y sistemas diferentes, como las

dirección asistida electrónicamente y la dirección asistida adaptable, el sistema de seguridad predictivo, etcétera, que requieren la interacción de componentes y subsistemas E/E.

Entonces, las empresas están enfrentándose a la demanda de integración de una red densa y compleja de sistemas E/E, y transitan hacia la integración de funciones y comunicaciones más sofisticadas. En la medida que las funciones de un vehículo se vinculan cada vez más entre sí, la actividad de innovación emigra de la aislada o autónoma a una de sistemas. Mientras que en el pasado un dispositivo servía para una función exclusiva, la tendencia hoy en día es que sirva para más de un propósito. Desde el punto de vista de la emergencia de la jerarquía dentro de este sistema complejo, ¿cuáles son las implicaciones de la expansión del núcleo electrónico de funciones críticas, que exigen procesar información en tiempo real?

VÍAS PARA ENFRENTAR LA COMPLEJIDAD Y LA VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS E/E

Es posible pensar que los vehículos se están convirtiendo en computadoras sobre ruedas, pero esta afirmación resulta engañosa; pues existen diferencias cualitativas en la manera en que una computadora personal y la de un automóvil interactúan con los agentes y el medio ambiente. Por ejemplo, algunos de los sistemas electrónicos de un vehículo interactúan en “tiempo real”, por una parte con el ambiente inestable y complejo (cambio en temperatura, humedad, vibración, fricción, etcétera) y, por otra, con el conductor. En ambas situaciones la seguridad de los ocupantes, del bien material (vehículo) y del medio ambiente pueden ponerse en situaciones críticas o peligrosas. Los radares láser, los sensores ultrasónicos y las cámaras asociados a los modernos sistemas de seguridad (pasiva y activa) producen grandes volúmenes de información, que deben ser procesados de manera rápida, robusta y confiable. La demanda de poder de cómputo es cada vez mayor, en la medida en que los sistemas de seguridad de un automóvil deben interactuar con el usuario en tiempo real. Estas exigencias no pesan de la misma manera en el desempeño de una computadora.

A diferencia de una computadora, que funciona con voltajes muy pequeños, un vehículo que trabaja con alto voltaje no puede permitir el contacto-tierra de los cables, debido a la amenaza mortal que representa para la vida y la seguridad de los ocupantes (Potdevin 2009; Reiman y Männel 2008). Así mismo, una computadora personal tiene una capacidad de procesamiento de información concentrada en un espacio definido y restringido (módulo), en tanto que un vehículo tiene muchas computadoras pequeñas distribuidas en toda su estructura. Por lo tanto, el sistema de cómputo de los autos nuevos es más parecido a los de un avión, que a los de una computadora personal.

Esta situación plantea exigencias altísimas a los diseñadores y fabricantes sobre la calidad y robustez de los sistemas electrónicos, en particular sobre las formas de gobierno de fallos y de la vulnerabilidad. Se están sustituyendo partes mecánicas –que habían venido funcionando de manera segura y confiable– por otras electrónicas, que pueden ser muy vulnerables, lo que genera incertidumbre en relación con su desempeño. Este sistema resulta ser muy nuevo e inmaduro, en comparación con los mecánicos. Sin embargo, la intensificación de la competencia ha provocado que las empresas introduzcan, en algunos casos, innovaciones que todavía no están maduras (Bauer 2007).

Hay varias soluciones para enfrentar la vulnerabilidad de los sistemas electrónicos: a) redundancia física; utilizar dos o más componentes paralelos que procesen las mismas señales, por ejemplo el manejo-por-cable (*drive-by-wire*), que trabaja en condiciones de “tiempo real”, contiene sensores, solenoides, microprocesadores, arneses y canales de comunicación redundantes, que permiten enfrentar situaciones de fallo, y b) redundancia analítica: incrementar la capacidad de procesamiento de información y autorregulación de los sistemas electrónicos. A partir del conocimiento más profundo del sistema se

pueden crear modelos matemáticos, que permitan diagnosticar y resolver los problemas. Por ejemplo, incorporar las ECU con *software* sofisticado, en particular algoritmos rápidos y robustos, para detectar y regular fallos, falsas alarmas, inestabilidad o caos. De esta manera, un vehículo se parece cada vez menos a una computadora, y cada vez más a un avión.

Para lidiar con la incertidumbre, la vía tanto de la redundancia física como la analítica son soluciones que implican costos adicionales y el incremento de la complejidad de los vehículos. Cada *software* o *hardware* que se agregue incrementa la probabilidad de que sistemas diferentes interactúen de manera caótica o que produzcan inestabilidad. En un automóvil de lujo, 25 por ciento de los defectos electrónicos están asociados al *software* de las ECU y 25 a la red (Huhn y Schaper 2006). Desde esta perspectiva, se puede entender por qué han crecido exponencialmente los llamados a reparaciones (*recalls*) en las empresas del sector automotriz. En Estados Unidos se efectuaron 50 *recalls* en 1960, para 2008 fueron alrededor de 800. Y en 2010, en dicho país, se retiraron del mercado 20 millones de automóviles para reparación (Bae y Benítez Silva 2011). Una de las causas de este crecimiento se asocia a la complejidad de los autos nuevos y al establecimiento de reglas de seguridad estrictas por agencias gubernamentales. Los errores y fallos en el *software* cuestan a la economía estadounidense unos 59 mil millones de dólares al año (National Institute of Standards and Technology 2002).

¿Cómo administrar la red de interacciones, interrelaciones y mecanismos de control de los sistemas electrónicos que trabajan de manera independiente, pero que deben organizarse, en tiempo real, para asegurar un objetivo común? Cuando se integran sistemas electrónicos y, en consecuencia se reconfigura la arquitectura del automóvil, es necesario conformar nuevas jerarquías y un lenguaje común. La necesidad de encontrar una arquitectura tecnológica óptima, que reduzca la vulnerabilidad de los sistemas electrónicos exige una elevada capacidad económica, organizacional y tecnológica de las ensambladoras y proveedoras. Este trabajo permite identificar algunas de las posibilidades de responder a estas exigencias.

CONCLUSIÓN

En la reconstrucción de la trayectoria tecnológica de los automóviles, ¿qué función cumplen los ritmos de cambio en la tecnología? Una característica de los sistemas complejos se relaciona con lo heterogéneo de los ritmos de cambio de sus componentes. Y uno de ellos, que tenga una baja tasa de innovación puede, en un contexto de interdependencia, provocar formas insuficientes de interacción. Las diferencias en el ritmo de la tasa de innovación conducen a la emergencia de problemas críticos o desequilibrios tecnológicos, tanto en las partes como en el conjunto, lo cual puede obstaculizar la evolución del sistema tecnológico.

Las empresas están construyendo estrategias de solución que les permitan enfrentar la creciente complejidad; disminuir el número y la diversidad de desequilibrios tecnológicos y avanzar en los procesos de innovación. Todas estas fuerzas contradictorias han conducido a un ritmo acelerado de innovación del diseño y manufactura de las ECU, los sensores, los solenoides y los arneses; así como a la administración del volumen de energía e información asociados a una red cada vez más extensa e interdependiente. La información disponible sobre la evolución del sector automotriz indica que es un proceso volátil e inestable de transición tecnológica, caracterizado por grados sustanciales de incertidumbre.

En la evolución de la red de componentes electrónicos, ¿cómo se explica la emergencia de una jerarquía? Conforme madura la tecnología y crecen las presiones competitivas, los fabricantes van agregando ECU de manera independiente, masiva y desorganizada; las primeras se limitaban a una sola función. Este proceso generaba una red desconectada de las ECU, sin una estructura jerárquica que gobernara el flujo de energía e información en el sistema. Son varios los caminos en el cambio tecnológico y son heterogéneas las tasas de innovación que modifican la composición y jerarquía del sistema tecnológico. Es necesario, por ende,

coordinar las tendencias convergentes/divergentes de las trayectorias tecnológicas, así como los ritmos de evolución. No existe un orden espontáneo dentro de ningún sistema tecnológico complejo, sino que éste es más bien el resultado de factores de naturaleza estructural y estratégica.

La transición de los procesos de innovación de componentes electrónicos individuales a sistemas electrónicos plantea, a los diseñadores de automóviles, la construcción de una jerarquía robusta de las ECU. No es posible transitar a funciones más complejas de integración de subsistemas electrónicos, eléctricos y mecánicos sin una coordinación y administración robusta. La red del flujo de información de un vehículo moderno es administrada por dispositivos cada vez más inteligentes, que utilizan protocolos de comunicación –*software*– sofisticados. En la fase actual se están estableciendo posibilidades complejas de conectar componentes y funciones. El futuro está abierto y las empresas están explorando formas novedosas de integración de su red de componentes E/E. Por ello, las compañías del sector automotriz están comprometidas en una carrera intensa por desarrollar sistemas tecnológicos, que favorezcan la comunicación jerárquica entre una población numerosa de ECU.

¿Cuáles son los atributos que permiten caracterizar a los automóviles como sistemas complejos adaptables? Se puede considerar la existencia de tres momentos en esta evolución: a) de 1900 a 1970, el automotor era un sistema complejo mecánico, constituido por muchas partes que interactuaban entre sí, siguiendo reglas fijas de comportamiento; b) de 1971 a mediados de 1990 emergió la complejidad de dispositivos electrónicos individuales, que no interaccionan entre sí y c) a principios del año 2000, con la adopción de los sistemas *x-by-wire*, comenzó la transición hacia la complejidad electrónica: dispositivos que utilizan reglas de manera flexible y que les permiten representar el mundo, interactuar y adaptarse al ambiente en tiempo real de manera no predecible, lineal o mecánica. Desde esta perspectiva, se puede señalar que los automóviles se han transformado en sistemas complejos adaptables.

BIBLIOGRAFÍA

Abernathy, W. 1978. *The Productivity Dilemma: Roadblock to Innovation in the Automobile Industry*. Baltimore: The John Hopkins University Press.

Alliance Bernstein. 2006. Ending Oil's Stranglehold on Transportation and the Economy. http://www.bernstein.com/CmsObjectPC/pdfs/B39433_HybridsBlackbook.pdf

Anwar, S. 2009. Drive by Wire Systems: Impact on Vehicle Safety and Performance. En *Automotive Informatics and Communicative Systems: Principles in Vehicular Networks and Data Exchange*, coordinado por H. Guo, 12-47. Nueva York: Institute for Infocom Research.

Automobile.com. 2012. Toyota and Nissan Join Forces to Standardize Automotive Electronic Software. <http://www.automobile.com/toyota-and-nissan-join-forces-to-standardize-automotive-electronic-software.html>

Bae, Y., y H. Benítez Silva. 2011. Do Vehicle Recalls Reduce the Number of Accidents? The Case of the U.S. Car Market. <http://www.ms.cc.sunysb.edu/~hbenitezsilv/recall.pdf>

- Barkholz, David. 2010. Fixing Cars' Brains Saves Ford Millions. *Automotive News*. May.
- Bauer P. 2007. How Electronics is Changing the Automotive Industry: from Component Suppliers' to System Partners. En *Mastering Automotive Challenges*, de B. Gottschalk y R. Kalmbach. Londres: Kogan Page.
- Bernstein, Mark. 1988. A Self-starter that Gave us the Self Starter. *Smithsonian* 19 (4):125.
- Bogden, D. 2004. Electronics Controls for the 21st Century Powertrain. *Auto Electronics* I, October. http://autoelectronics.com/mag/electronic_controls_st/
- Bonnick, A. 2001. *Automotive Computer Controlled Systems Diagnostic Tools and Techniques*. Oxford: Butterworth-Heinemann Linacre House.
- Brauer, Karl. 2002. Why Drive-by-wire? Edmonds.com. <http://www.edmunds.com/news/innovations/articles/43033/article.html>
- California Energy Commission. 1997. Transportation Technology Status Report, Staff Report, Estados Unidos.
- Chew, Edmund. 2004. Demands on Electrical Systems Intensify. *Automotive News*. <http://www.highbeam.com/doc/1G1-112588776.html>
- Christ, Th. 2008. Braking Energy Regeneration in the Electric Onboard Network. *ATZElektronik* 4: 4-9.
- Crouch, Dell. 2005. Battery Technology for Automotive Applications. En *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*, editado por Ali Emadi, 677-688. Londres: Taylor & Francis Group.
- Denton, T. 2004. *Automobile Electrical and Electronic Systems*. Oxford: Elsevier.
- Ebert, Christof y Capers Jones. 2009. Embedded Software: Facts, Figures, and Future. *IEEE Computer Society Press* 42 (4): 42-52. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1550393.1550433>
- Emadi, Ali (editor). 2005. *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*. Londres: Taylor & Francis Group.
- Floercke K. 2007. Siemens VDO to Offer Electronic Brakes by 2010. *Automotive News* 16: 43. http://goliath.ecnext.com/coms2/gi_0199-6451221/Siemens-VDO-to-offer-electronic.html
- Flores, J., y F. Novelo. 2000. *Innovación industrial, desarrollo rural e interacción internacional*. México: UAM-Xochimilco.

- Freescale. 2004. Electrohydraulic Braking Freescale Semiconductor, Inc. http://www.freescale.com/files/shared/doc/selector_guide/SG2007.pdf
- Fujimoto, T. 1999. *The Evolution of a Manufacturing System at Toyota*. Nueva York: Oxford University Press.
- Giral Castellón, R., L. Martínez Salamero y J. Maixé Altés. 2005. Conventional Cars. En *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*, editado por Ali Emadi, 3-20. Londres: Taylor & Francis Group.
- Gottschalk, B., y R. Kalmbach. 2007. *Mastering the Challenges of the Automotive Industry*. Londres: Kogan Page.
- Guo, H. 2009. *Automotive Informatics and Communicative Systems: Principles in Vehicular Networks and Data Exchange*. Nueva York: Institute for Infocom Research.
- Hansen Report. 2009. The Hansen Report on Automotive Electronics. 22 (7). <http://www.hansenreport.com>
- Hardung, B., T. Kölzow y A. Krüger. 2008. Reuse of Software in Distributed Embedded Automotive Systems. En *Automotive Embedded Systems Handbook*, de Navet y Simonot-Lion. Londres: CRC Press.
- Higgins, A., y S. Koucky. 2002. Mercedes Pumps “Fly by Wire” Brakes into New Roadster. *Machine Design* (74) 19: 26.
- Hofman, T. 2004. Honda to Team up with Toyota and Nissan on Electronics Software Standardization. Auto123.com: <http://www.auto123.com/en/news/honda-to-team-up-with-toyota-and-nissan-on-electronics-software-standardization?artid=30167>.
- Holland, J. 1996. *Hidden Order: How Adaptations Builds Complexity*. Nueva York: Basic Books.
- Honda Motors. 2012. Analog to Digital: A Three-year Detour Leads to the Goal. Honda.com. www.world.honda.com/history/challenge/1981navigationsystem/text/09.html
- Huhn, W., y M. Schaper. 2006. Getting Better Software into Manufactured Products: The Problems of Embedded Software are Rooted in the Legacies of Hardware Development. http://www.mckinseyquarterly.com/Getting_better_software_into_manufactured_products_1746
- IHS Global Insight. 2009. Resistance Is Futile-electronics are on the Rise: Electronic Control Units and Communication Protocols. *IHS Global Insight, Inc.* January (26): 24.
- Ingraham, J. C. 1957. Automobiles: Races; Everybody Manages to Win Something at the Daytona Beach Contests. *The New York Times*.

- Jones, N. 2011. Advanced Electro-mechanical Braking System Delphi's Brake-by-wire Concept. *TTTech Computertechnik AG*. <http://www.tttech-automotive.com/fileadmin/content/pdf/TTTech-Delphi-Casestudy-Brake-by-Wire.pdf>
- Klauda, M., y U. Lauff. 2008. Function and Software Development for ECUS; *ATZElektronik* 4: 10-15.
- Klier, T., y J. Rubenstein. 2008. *Who Really Made Your Car? Restructuring and Geographic Change in the Auto Industry*. Michigan: W.E. Upjohn Institute for Employment Research Kalamazoo.
- Kromer, M., y J. Heywood. 2007. *Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-duty Vehicle Fleet Publication*; LFEE 2007-03 RP. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Lara, Arturo. 2000. Complejidad y desequilibrio tecnológico: notas sobre la historia de la convergencia del sector automotriz–sector electrónico. En *Innovación industrial, desarrollo rural e interacción internacional*. México: UAM-Xochimilco.
- Lee, Edward A. 2002. Embedded Software. En *Advances in Computers* 56, editado por Zelkowitz. Londres: Academic Press.
- Leen G., y D. Hefferman. 2002. Expanding Automotive Electronic Systems. *Computer* 35: 88-93. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.187.9206&rep=rep1&type=pdf>
- _____ y A. Dunne. 1999. Digital Networks in the Automotive Vehicle. *IEE Computer and Control Engineering Journal* 257-266.
- Lipman, J. 2004. Silicon Fuels the Automotive Industry. *SemiView* March. <http://www.eetimes.com/design/automotive-design/4017879/Silicon-Fuels-the-Automotive-Industry>
- Lovati, Stefano. 2009. *An Overview of Automotive Buses*, April. <http://dev.emcelettronica.com/overview-automotive-buses>
- Mcintosh, J. 2012. Automotive Glossary Woman on Wheels. <http://jilmcintosh.typepad.com/jil/automotive-glossary.html>
- Miller, J. 1996. Multiple Voltage Electrical Power Distribution Systems for Automotive Applications, Proceedings 31st Intersociety Energy Conversion Conference, *IEEE Press, Piscataway*, Nueva Jersey. <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=httpporciento3Aporciento2Fporciento2Fieeexplore.ieee.orgporciento2Fiel3porciento2F4058porciento211981porciento2F00553407.pdfporciento3Farnumberporciento3D553407&authDecision=-203>
- Mischo, S., R. Kornhaas, I. Krauter, U. Kersken y R. Schöttle. 2008. E/E Architectures at the Crossroads. *ATZElektronik Worldwide Edition*: III 2008 (5) 10-13.

- Murray, Charles J. 2009. Automakers Aim to Simplify Electrical Architectures. *Design News*. July 29. http://www.designnews.com/article/316784-Automakers_Aim_to_Simplify_Electrical_Architectures.php
- National Institute of Standards and Technology. 2002. Software Errors Cost U.S. Economy \$59.5 Billion Annually. National Institute of Standards and Technology Published October 2002. <http://www.ashireporter.org/articles/articles.aspx?id=740>
- Navet, N., y F. Simonot-Lion. 2008. *Automotive Embedded Systems Handbook*. Londres: CRC Press.
- Nishiguchi, T. 1994. *Strategic Industrial Sourcing: The Japanese Advantage*. Oxford: Oxford University Press.
- Oxer, Jonathan y Hugh Blemings. 2009. *Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware Technology in Action*. Nueva York: Apress.
- Page, S. 2011. *Diversity and Complexity*. Princeton: Princeton University Press.
- Paret, D. 2007. *Multiplexed Networks for Embedded Systems: CAN, LIN, Flexray, Safe-by-wire*. Chichester: J. Wiley & Sons.
- Porter, M. 1983. *Cases in Competitive Strategy*. Nueva York: The Free Press.
- Potdevin, H. 2009. Insulation Monitoring in High Voltage Systems for Hybrid and Electric Vehicles. *ATZElektronik Worldwide Edition* 6: 28-31.
- Powers, W. 2001. Environmental Challenges, Consumer Opportunities Auto.com. http://www.auto.com/travcity99/wpowers_aug5.htm.
- Reimann, W., y R. Männel. 2008. Influence of Vehicle Electrical Energy on Fuel Consumption. *ATZElektronik Worldwide* 3: 4-9.
- Rendle, S. 1991. Fiat Tipo Owners Workshop Manual 1988 to 1991. *Haynes*. <http://www.carsfromitaly.net/flat/index.html>
- Rosemberg, N. 1982. *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Rundle, Randy. 2002. The Coming 42-volt Electrical System Electrical Rebuilder's Exchange. <http://www.docstoc.com/docs/42187675/The-Coming-42-Volt-Electrical-System>
- Shimokawa, K. 2010. *Japan and the Global Automotive Industry*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sostawa, B., y H. Schöpp. 2009. MOST 50 Adopted in Asia. *ATZElektronik Worldwide* 4: 40- 44.

- The Volvo Owners Club. 2009. Volvo's Three-point Safety Belt Turns 50. http://www.volvoclub.org.uk/press/releases/2009/seat_belt_50.shtml
- Trevett, N. Ray. 2002. X-by-Wire, New Technologies for 42V Bus Automobile of the Future South Carolina. Honors College. http://www.me.sc.edu/research/ARG/honors_thesis.pdf
- Truett, R. 2004. Electronics Boom Puts Heavier Workload on Alternators. *Automotive News* 9: 36.
- Viehmann, M. 2009. Power Management Classification - Energy-related Modular System of the Future. *ATZElektronik Worldwide* 4: 28-33.
- Wichmann, H. 2008. Lightweight Construction Criteria in Wiring Harnesses. *ATZElektronik Worldwide* 4: 42-46.
- Womack, P., D. Jones y D. Roos. 1990. *The Machine that Changed the World*. Nueva York: Rawson Associates.
- Zelkowitz, M. (editor). 2002. *Advances in Computers* 56. Londres: Academic Press.

FORMACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HUMANOS PARA LA INNOVACIÓN EN MÉXICO

Giovanna Valenti Nigrini¹
María Elena Pérez Campuzano²

INTRODUCCIÓN

Algunos autores han señalado que la relación existente entre capital físico y capital humano puede estimular el crecimiento económico y la productividad (Becker 1964). En ese sentido, el aprendizaje y la capacitación laboral, el fomento a la apropiación de conocimientos nuevos y, en general, la inversión en educación formal son cruciales en el proceso de gestación de innovaciones, que posteriormente favorecen el desarrollo económico. Con esta idea, en el presente artículo se analiza la formación de recursos humanos en cuanto a la educación formal y la capacitación en el trabajo, así como su aprovechamiento en las empresas, para el desarrollo o adopción de innovaciones tecnológicas.³

El argumento de partida es que “la educación formal” con frecuencia ha sido una variable sobredimensionada, respecto a su aporte al desarrollo de innovaciones y al crecimiento económico, como también lo es la capacitación en el trabajo; los esfuerzos realizados de manera individual en cada variable tienden a formar islas de crecimiento que, si bien contribuyen a la formación de recursos humanos, no logran un efecto importante en el desarrollo o adopción de innovaciones tecnológicas dentro de las empresas, aspecto que en la actualidad se reconoce como eje principal de los procesos de crecimiento económico en las regiones y países del mundo.

Además de la introducción, este documento consta de cinco apartados. En el primero se aborda la discusión teórica sobre el vínculo entre formación de recursos humanos y crecimiento económico. En el segundo y tercero se incluye un balance para México en materia de formación profesional, de capacitación en el trabajo, así como los mecanismos de incursión o interacción en el sector productivo. Al final se revisan casos prácticos en los que interactúan la formación de recursos humanos, la innovación y la productividad. En la conclusión se expone una serie de reflexiones y las fuentes consultadas o referenciadas.

¹ Profesora-investigadora de la Universidad Autónoma Metropolitana, UAM-Xochimilco. Correo electrónico: gvalenti@flacso.edu.mx

² Asistente de investigación en Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO-México. Correo electrónico: maria.perez@flacso.edu.mx

³ En este trabajo se retoma, en gran medida, los resultados de la investigación sobre la relación entre capital humano y sistema de innovación de Valenti (2011).

La relación entre formación de recursos humanos y crecimiento económico estaba fundamentada teóricamente mucho antes de que apareciera “la teoría del capital humano”. En *La riqueza de las naciones*, de Adam Smith, se establece que el capital de una nación es resultado del de sus habitantes, y la mejora en la destreza del trabajador se asemeja a una máquina que contiene trabajo, sobre la cual a pesar de incurrir en un gasto, queda compensado por el flujo de beneficios que genera (1976, 306).

Stuart Mill también argumentó la importancia de la educación en la productividad, pero consideró otros aspectos como la habilidad y actitud de los recursos humanos, características que incluso en algunos casos pueden aportar más a ella, que la educación formal. Por ejemplo, con el testimonio del señor Escher, de Zurich (ingeniero y fabricante de algodón que empleaba a casi dos mil obreros de diferentes nacionalidades), explicó cómo la preferencia de los hombres de negocios en general, y de un patrón sería rodearse de trabajadores sajones o suizos, en especial de los primeros, porque por lo común habían tenido una educación general muy amplia, que había extendido sus capacidades más allá de cualquier empleo determinado y los capacitaba, después de una corta preparación, para desempeñar el puesto al que se les destinara (1943, 117).

Podría considerarse a Stuart Mill como uno de los precursores de la idea de competencias, pues además del conocimiento argumentó que los mayores beneficios para la economía venían de las virtudes y cualidades de las personas, es decir, el comportamiento (actitudes y aptitudes), ya que influyen de manera positiva en la productividad. Hay tres formas principales en las que lo productivo repercute de manera positiva: a) favorece la confianza para el intercambio económico; b) facilita que los trabajadores se administren física e intelectualmente, lo cual reduce los costos de supervisión y c) disminuye los gastos de abogacía y policiales para verificar el cumplimiento del contrato. Lo anterior significa un ahorro en tiempo y gastos, que se tendría si los trabajadores realizaran con honestidad la tarea que se les encomienda; incluso se establece que sus cualidades morales son tan importantes como las intelectuales, para la eficacia y el mérito de su labor (Ibid., 117-119).

En consecuencia, para lograr una mayor cantidad de producto con el mismo trabajo es necesario implementar procesos de preparación de los trabajadores en diferentes aspectos, a fin de obtener un efecto doble: a) uno indirecto, que se reflejaría en la mayor capacidad de la población para utilizar máquinas más complejas, con el consecuente aumento de la productividad y b) uno directo, relacionado con la mayor capacidad para innovar, por lo que se inventarían máquinas y procesos para mejorar la productividad (Ibid., 108).

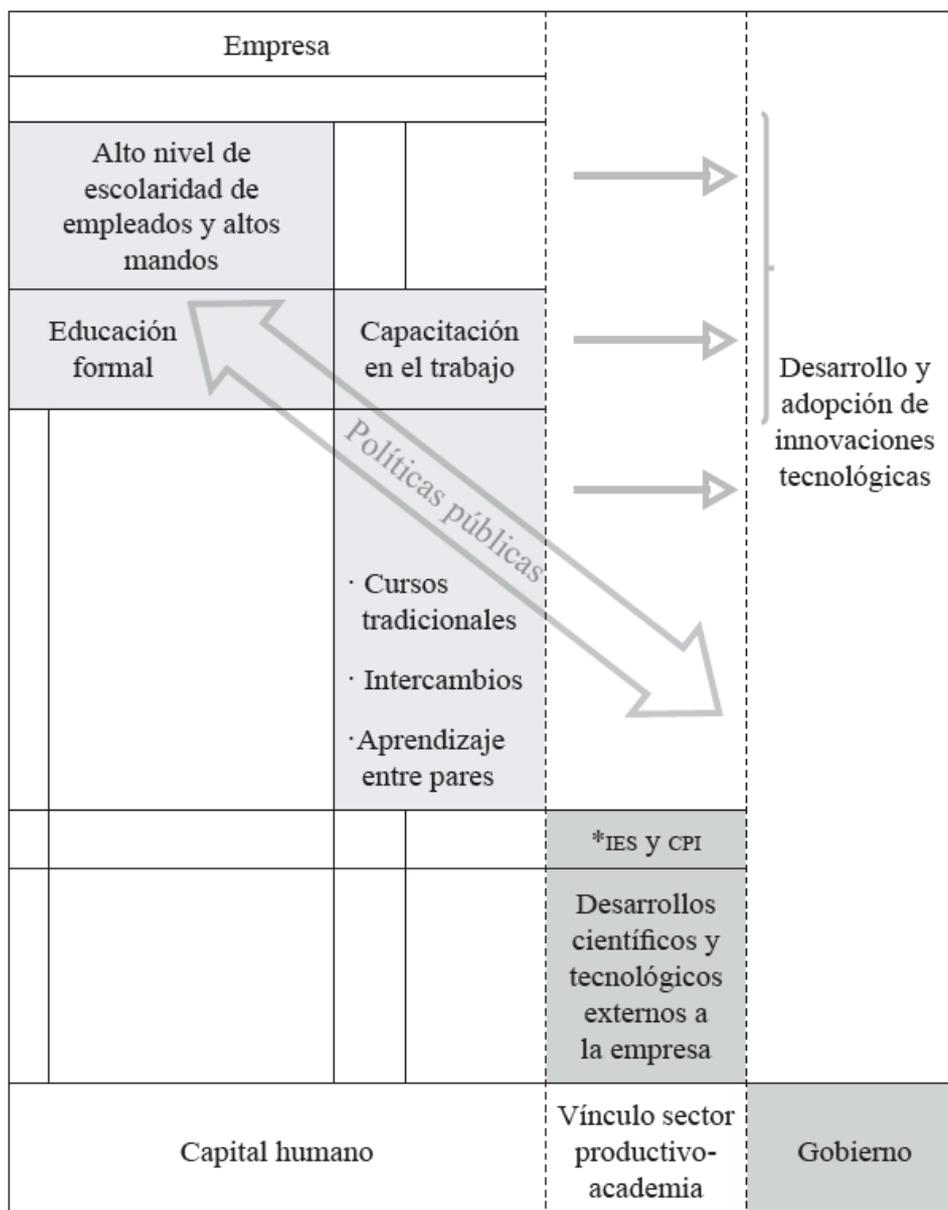
En la obra de Garry Becker se identifican diversas inversiones en capital humano, entre las que cuentan la escolarización, la formación en el puesto de trabajo, los cuidados médicos, las migraciones y la búsqueda de información sobre precios y rentas; por ser estos elementos los que mejoran la capacidad, los conocimientos o la salud de los trabajadores y, por lo tanto, eleva las rentas monetarias o psíquicas (1983, 21).

Por su relevancia y centralidad en diversas políticas públicas de los últimos años, lo que interesa aquí es el papel de la formación en la escuela y en el trabajo; la primera, definida por Becker como general (adquirida en la educación básica y media y en cualquier otra financiada por el propio trabajador, en la que la empresa no participa), y la segunda como formación específica (adquirida dentro de una unidad de producción o de servicio, que le permite al trabajador desarrollar su productividad dentro de la empresa).

La formación en el trabajo se ubica en un estadio más cercano al de la productividad, sobre la que se afirma sólo puede mejorarse mediante un costo, ya que en caso contrario existiría una demanda ilimitada de

formación, costos que incluyen el valor asignado al tiempo y al esfuerzo de los aprendices, la enseñanza que otros proporcionan y el equipo y los materiales que se utilizan en una empresa (Ibid., 29). En este sentido, las condiciones del ámbito laboral son consideradas parte fundamental de la producción.

Figura 1
Educación formal y capacitación en el trabajo para la innovación



* Instituciones de educación superior y centros públicos de investigación.

Fuente: elaboración propia.

La educación formal y formación recibida en el trabajo se suponen interdependientes y complementarias para incidir en la producción, por lo que se observan como espacios que tendrían que mantenerse vinculados para el desarrollo de políticas diferenciadas pero articuladas en los dos ámbitos. Por

ejemplo, Becker cita que “donde mejor se adquiere la mayor parte de la formación para la industria de la construcción es en el propio puesto de trabajo, mientras que la formación de un físico requiere un largo periodo de esfuerzo especializado”, no obstante ambos necesitan bases académicas y de un desarrollo empírico. La interacción entre los dos tipos de formación genera beneficios, por ejemplo “el aprendizaje ha pasado de los bufetes a las facultades de derecho, o en ingeniería, donde la experiencia en el trabajo ha dado paso a escuelas técnicas” (Ibid., 51). Así mismo, la formación en las instituciones escolares depende en parte de la cantidad de conocimientos formalizados de que se dispone, pues se puede enseñar formalmente la teoría de precios en un curso, pero no se podría incluir en él una enseñanza formal de los principios que se utilizan en la obtención y manipulación del material empírico. En algunos casos se ha considerado que las escuelas y las empresas son fuentes alternativas de cualificaciones concretas, sin embargo lo que hoy se sabe es que contribuyen más siendo complementarias.

Respecto a la relación que se establece entre recursos humanos (capital humano) y crecimiento económico, Becker hace una diferencia sustancial entre ambos; mientras el primero tiene que ver con el conocimiento y las habilidades de los individuos, el segundo depende de los avances en el conocimiento tecnológico y científico (Becker et al. 1990, 13), con lo que aparece el tercer elemento que media entre formación de recursos humanos y crecimiento económico, que es el desarrollo de innovaciones en los procesos e instrumentos de producción. Esto no es resultado de la genialidad o buenas ideas de una sola persona, sino el producto de la acción conjunta y orientada de un capital humano que, habiendo sido formado en diferentes campos, contribuye al desarrollo, introducción y operación de innovaciones tecnológicas, que en principio requiere de recursos humanos con niveles de escolaridad que permitan al trabajador comprender y desarrollar iniciativas de cambios dentro de las empresas, así como tener la capacitación que garantice su pleno conocimiento del ramo e institución en la que se desempeña.

Lo anterior supone una acción articulada y orientada hacia un solo objetivo de los ámbitos académico, productivo o empresarial y el gubernamental. De los dos primeros puede decirse que existen poblaciones autónomas para su desarrollo, sin embargo ambos se influyen mutuamente, en razón de lo cual, al retomar los argumentos de Dutrénit et al. (2011), quienes analizaron los procesos de coevolución entre ciencia y tecnología con la innovación, es posible decir que son poblaciones que están causalmente vinculadas. La formación de recursos humanos y las iniciativas del ámbito académico tendrían que desarrollarse de manera individual, así como articularse y orientarse vía políticas públicas, para inducir mejoras que no sólo fueran parciales.

El ámbito académico abarca, en primer lugar, la formación de recursos humanos sobre todo en licenciaturas y posgrados. Variable que, por tradición, se considera como el factor principal que impulsa el crecimiento económico, en algunos casos se ha sostenido que la educación fue un ingrediente decisivo en el éxito de economías como la de Hong Kong (China), República de Corea, Singapur y Taiwán (China). Entre los atributos asignados a esta variable y que contribuyen al crecimiento económico están las siguientes:

- Aumenta la capacidad productiva del individuo, pues mejora su competencia para el aprendizaje y para acceder a información nueva (Becker 1964).
- Mejora la creatividad de la persona, lo que genera tanto innovaciones técnicas como institucionales (Romer 1986 y 1991).
- Produce familias más educadas, lo que posibilita un ambiente familiar y social más propicio para el mejor desenvolvimiento de las generaciones futuras en los planos intelectual, corporal y nutricional.
- Eleva el costo de oportunidad de tener y mantener hijos, lo que deriva en una menor tasa de fertilidad y, por ende, menos crecimiento poblacional (Barro 1991).

- Genera externalidades positivas, puesto que la capacidad productiva de un individuo es más elevada en una sociedad donde el nivel educativo promedio es más alto (Lucas 1988).

Teorías como las anteriores han dado sustento a estudios realizados por organismos internacionales como el Banco Mundial y la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos, en la década de 1990. Se descubrieron algunas variables con repercusión en la producción agregada como la matrícula de la escuela primaria y secundaria, el crecimiento demográfico y la inversión promedio. No obstante, la mayoría de los estudios no consideró otros factores que pudieron incidir en la producción agregada o la posibilidad de que el incremento de la productividad fuera lo que en realidad estuviera mejorando las variables de la educación.

A pesar de que la inversión en educación encontró confianza en los sectores públicos y privados, y dio origen a diversas políticas públicas, como refiere Bonal Sarró (1998), esta fue una decisión que pronto mostró su debilidad pues en principio atentó contra ella la gran cantidad de personas tituladas que no encontraban una colocación laboral. Esto trajo consigo la desaceleración progresiva del gasto público en educación y la pérdida de credibilidad en la teoría del capital humano (Ibid., 172). Este fue el efecto de confiar en que la educación es una variable de crecimiento, independiente de otras como las productivas y laborales.

Respecto al ámbito productivo, se sabe que los sectores más dinámicos han buscado persistentemente atraer los recursos humanos mejor calificados, lo que no se ha limitado a los que poseen altos grados académicos, sino que también a quienes hayan adquirido experiencia y conocimiento derivado de su trabajo en empresas similares a las suyas. La capacitación interna en el trabajo ha constituido una forma de facilitar los procesos de desarrollo, introducción y adopción de nuevos productos y tecnologías.

Los recursos humanos formados en la academia pueden, por una parte, contribuir a desarrollar y mejorar de alguna manera la productividad de una empresa o bien crear innovaciones tecnológicas de manera externa, que el sector productivo pueda adoptar; aspecto que requiere la vinculación constante entre la academia y el sector productivo, a lo que tendrían que contribuir las políticas públicas impulsadas desde el gobierno.

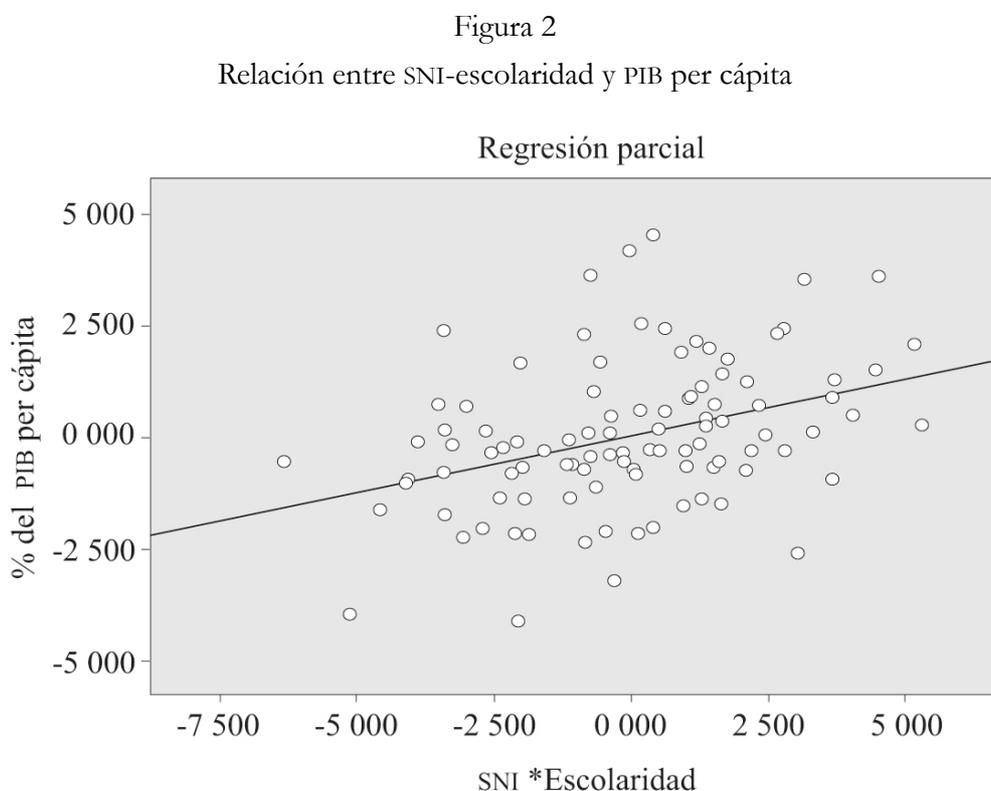
FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS EN MÉXICO: INCORPORACIÓN EN EL SECTOR PRODUCTIVO

En estudios realizados en México ha prevalecido la idea de que el capital humano puede medirse por los años de educación o entrenamiento adquiridos por un conjunto de individuos, correspondientes a las prácticas de medición del crecimiento económico que dan cuenta de los cambios en la calidad de la fuerza de trabajo, entendidas como las transformaciones observables en la escolaridad y experiencia de las personas, que les otorga mejores herramientas para posicionarse en el mercado (Romer 1991). Sin embargo, investigaciones recientes muestran que la formación y aprovechamiento de recursos humanos en beneficio del crecimiento económico no se puede limitar a generar egresados de las instituciones de educación superior e insertarlos en el mercado laboral. Ello resulta de la diversidad de críticas respecto al supuesto de linealidad entre formación de recursos humanos profesionales y de alto nivel y el incremento de productividad.

A escala nacional, una simulación realizada por Valenti (2011) muestra que la mayor escolaridad de los recursos humanos no se traduce en automático en un incremento del PIB per cápita, sino que en éste influyen muchas otras variables, entre ellas la disposición de un Sistema Nacional de Innovación (SNI) más o menos

desarrollado⁴ (véase [figura 2](#)). Por lo cual, una inversión extensiva y exclusiva en escolaridad no repercutirá en la mejora de la productividad nacional.

Lo anterior puede explicarse mediante dos situaciones. La primera es que la industria en México no absorbe en proporciones importantes a profesionales, y mucho menos cuando se trata de los que tienen maestría y doctorado; algunos análisis muestran que en la industria ha habido una reducción importante de éstos en la última década.⁵



Fuente: Valenti (2011)

La segunda situación, asociada con la anterior, es la débil percepción de la industria acerca de la potencialidad de los profesionales de alto nivel para la mejora de los procesos productivos y organizativos, así como para el mejor aprovechamiento de la tecnología con la que se cuenta. Los principales empleadores de los profesionistas son los sectores de servicios gubernamentales y sociales y, en menor medida, los financieros. Cuando el análisis se ocupa del grupo de personas con doctorado, el panorama se torna aún más dramático, ya que casi 80 por ciento de los que cursaron uno en el país o el extranjero trabajan en servicios de gobierno y en el sector educativo; la industria absorbe menos de 5 por ciento de ellos (Valenti 2011, 85).

⁴ Aquí se sostiene que con un SNI relativamente desarrollado, con valor de 1, cada año adicional de escolaridad promedio de la población se asocia a un incremento en el PIB per cápita de 0.257 por ciento. En cambio, cuando el SNI tiene un valor de -1, cada año adicional en la escolaridad se asocia a una reducción del PIB per cápita de -.257 por ciento.

⁵ De acuerdo con la Encuesta nacional de ocupación y empleo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI 2004), el desempleo de profesionistas con licenciatura se incrementó de 1.5 por ciento, en el año 2000, a 2.6, en 2004, y a 3.1, en 2006, hasta llegar a 4.7, en 2010. De la misma forma, entre quienes tienen doctorado se registró un incremento del desempleo a partir del año 2000, cuando era de prácticamente 0 por ciento. En 2004 subió a 2, y en 2006 a 3, aunque bajó a 1.7, en 2010.

Es incierta la expectativa de que la economía y la sociedad en general valoren cada vez más el conocimiento y su efecto positivo en la producción con innovación, si se toma en cuenta que la percepción sobre el bajo aporte de los recursos humanos con alta formación o escolaridad a la producción no es del todo errónea, aunque sí parcial.

Lograr resultados visibles del aporte de los recursos humanos al incremento de la productividad requiere de varias condiciones, que deben generarse de forma paralela dentro de las empresas, como la incorporación constante del conocimiento en sus actividades productivas, de lo contrario la empresa contará con habilidades útiles que no podrán ser aprovechadas para aplicarlas al conocimiento productivo y al capital intelectual.

En consecuencia, los esfuerzos en materia de educación no son exclusivos per se para explicar el crecimiento económico. Estos elementos se dilucidan en las comparaciones internacionales que indican claramente que, ante una infraestructura distinta para México, la contribución de los recursos humanos al crecimiento económico sería diferente; más amplia cuando está asociada a una industria desarrollada con una alta orientación hacia la generación de investigación y desarrollo (I+D). Estos resultados se inscriben en la línea de argumentación que discute la coevolución entre la ciencia y la tecnología y la innovación (Dutrénit et al. 2011), y coincide con los hallazgos de los autores que plantean las limitaciones de la coevolución entre ambos campos.⁶

CAPACITACIÓN EN EL TRABAJO EN MÉXICO

Entre las explicaciones de que en México esté desvalorizada la incorporación de recursos humanos con alta escolaridad al sector productivo, está en la prevalencia de una visión tradicionalista donde, para mantener una aparente buena relación costo-beneficio, se puede estar evitando gastar más para disponer de recursos humanos altamente especializados y los costos de aprendizaje que puedan generar. Por tanto, y según una perspectiva lógica, la capacitación en el trabajo podría verse más provechosa para mantener o elevar la productividad de las empresas. Sin embargo, se descubre que también tiene una serie de limitaciones en lo individual y, más aún, para concebirla y aplicarla como algo complementario a la incorporación de recursos humanos con escolaridad elevada en el ramo productivo.

A pesar de que México tiene fortalezas jurídicas significativas en el tema de la capacitación y adiestramiento laboral,⁷ sus avances en la práctica resultan demasiado limitados. Actualmente no se cuenta con fuentes de información o instrumentos con la rigurosidad suficiente para conocer el efecto de la formación laboral en el desarrollo de nuevos procesos o tecnologías dentro del grueso de las empresas, sin embargo se conoce de casos en donde ésta es una constante para mantener la competitividad empresarial, el ejemplo más claro es el de las multinacionales, que se revisará más adelante.

El tema se está regulado en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el artículo 123, fracción XIII, donde se establece que las empresas, cualquiera que sea su actividad, estarán obligadas a proporcionar a sus trabajadores capacitación o adiestramiento para el trabajo; de lo que se esperaría que esto se generalizara.

La Ley Federal del Trabajo establece que es de interés social promover y vigilar la capacitación y el adiestramiento; la primera se define como un derecho del trabajador, al estar orientado a elevar su nivel de vida y productividad, de común acuerdo, por el patrón y el sindicato y aprobado por la Secretaría del Trabajo

⁶ Se recomienda la lectura de Bracamonte y Contreras (2011).

⁷ Desde 1978 se hicieron reformas importantes a la Ley Federal del Trabajo, que ya incluía la formación profesional dentro del sistema normativo laboral, como punto excepcional del país.

y Previsión Social (STPS). El capítulo III bis manifiesta, entre otras cosas, que los objetivos de la capacitación y adiestramiento laboral deberán ser los siguientes: I. Actualizar y perfeccionar los conocimientos y habilidades del trabajador en su actividad; así como proporcionarle información sobre la aplicación de nueva tecnología en ella. II. Preparar al trabajador para ocupar una vacante o puesto de nueva creación. III. Prevenir riesgos de trabajo. IV. Incrementar la productividad y V. Mejorar las aptitudes del trabajador.

En cuanto a las políticas y programas públicos, México tiene una historia de al menos tres décadas en las que se han emprendido diversas iniciativas para impulsar la capacitación laboral; la primera en 1978, con la creación del Servicio Nacional de Empleo, que en la actualidad se encarga de brindar a la población la información, vinculación y orientación ocupacional necesaria, pero también apoyos económicos y de capacitación.

En el mismo año se determinó, con la reforma a la Ley Federal del Trabajo de 1970, la creación de la Unidad Coordinadora de Empleo, Capacitación y Adiestramiento, como órgano desconcentrado dependiente de la STPS e integrada por las direcciones del Empleo, la de Capacitación, Adiestramiento y la de Informática. Mientras que el 5 de junio de 1978, el Ejecutivo federal expidió un nuevo reglamento interior de la STPS, que incluye el de la Unidad Coordinadora de Empleo Capacitación y Adiestramiento, entidad que determina la competencia y atribuciones.

A partir de esta fecha, como señala Alzaga (1994), se celebran muchos convenios de capacitación y adiestramiento entre empresas y sindicatos, pero sólo asumen esa obligación y derecho las grandes empresas y sindicatos, las primeras por su solvencia económica y los segundos por su capacidad para atender la calificación de la fuerza de trabajo. Pero quedan fuera las empresas medianas y pequeñas, que son la mayoría del país.

Como parte de una política de desarrollo, en 1993 se diseñó el Programa de Modernización de la Educación Técnica y la Capacitación, cuyo objetivo fue enfrentar los avances tecnológicos y los nuevos esquemas de producción, a través de innovadores métodos de capacitación para el trabajo y de educación tecnológica. Después se estableció el Sistema Normalizado de Competencia Laboral, para promover la creación de normas técnicas de competencia laboral, las cuales establecen criterios para realizar una actividad productiva, y definen la competencia laboral como el conjunto de conocimientos, habilidades y destrezas que se requieren para el desempeño de una función productiva, a partir de las expectativas de calidad esperadas por el sector productivo (Sánchez Castañeda 2007).

También se elaboraron diversos planes como el Programa Nacional de Capacitación y Productividad de 1984 y 1988, cuyos objetivos fueron promover el incremento de la productividad de la industria, el comercio y los servicios; así como la de las empresas públicas y del sector social, y lograr la utilización eficiente de los medios disponibles para la formación de recursos humanos. Otro de los programas fue el de 1991-1994, creado para: a) elevar las capacidades, habilidades y aptitudes de la población; b) ampliar sus posibilidades de participación en la actividad productiva; c) mejorar sus niveles de vida y contribuir a un uso más racional y eficiente de los recursos de la sociedad; d) abrir cauces a la población trabajadora, para una participación más activa y creativa en el proceso de producción y e) desarrollar su capacidad de adaptación ante los retos de cambio tecnológico y la transformación de las estructuras productivas. Por otra parte, en 1992 se emitió el Acuerdo Nacional para la Elevación de la Productividad y la Calidad, cuyos fines fueron modernizar las estructuras organizativas del entorno productivo, entre otras, las empresariales, sindicales y gubernamentales; poner énfasis en los recursos humanos: capacitación permanente, condiciones del lugar de trabajo, motivación, estímulo y bienestar de los trabajadores y remuneración, así como la modernización y mejoramiento tecnológico, investigación y desarrollo.

Entre las iniciativas más recientes cuenta la fundación del Observatorio Laboral Mexicano, en 2005, encargado, entre otras cosas, de la estadística laboral y programas de apoyo a la capacitación y formación en el trabajo. No obstante al marco legal vigente y los esfuerzos citados, la operación y aprovechamiento de la capacitación laboral tiene muchas restricciones en la práctica. De acuerdo con la última Encuesta nacional de educación, capacitación y empleo (ENECE) (INEGI 2009), el número de los trabajadores que reciben capacitación resulta demasiado limitado respecto a la población económicamente activa.

En 2009, de los 46 748 117 trabajadores en condición de capacitación laboral, sólo 16 323 315 habían recibido algún curso durante los últimos años, y sólo a 7 200 724 se les había otorgado en 2009, es decir, 15 por ciento. Lo cual pone en entredicho la obligatoriedad de las empresas para ofrecer esta capacitación, así como de las instancias competentes de vigilancia y seguimiento, ya que de los entrevistados que no tomaron algún curso, 24.8 por ciento dijo no haberlo hecho por desconocimiento de los programas.

También ha sido escasa la participación del gobierno para elaborar programas de capacitación o facilitar su implementación dentro de las empresas; de acuerdo con el INEGI (2009), 68 por ciento de los cursos los financian las empresas y 14.6 el trabajador, mientras que sólo 11.6 algún programa de gobierno y 2 el sindicato o gremio. Situación que llama la atención en términos de la falta de políticas públicas en la materia.

El tercer punto destacable sobre la capacitación en el trabajo es su repercusión en la productividad, a pesar de que la ENECE no mide los resultados de la capacitación en las empresas, recupera opiniones de quienes la reciben o no; éstos arrojan una diferencia sustancial en cuanto a la recepción y orientación de los cursos. Por ejemplo, quienes recibieron capacitación durante los últimos años expresaron tres beneficios principales: a) especialización en su área de trabajo, 20.5 por ciento; b) mejoramiento en la calidad de los productos y servicios de la empresa en donde laboraban, 17.2 y c) aumento o certificación de competencias o habilidades, 15.5. En contraste, quienes no recibieron capacitación mencionaron que, entre las razones por las que consideraban importante tomar un curso estaban: a) cambiar o conseguir trabajo, 16.9 por ciento y b) mejorar la calidad de los productos o servicios que oferta su empresa, 12.1. Lo anterior invita a pensar en el efecto que pueden tener los cursos en la percepción del trabajador, como una parte importante de la empresa y en su utilidad para avanzar dentro de ella.

Además de la incorporación al ámbito laboral de los recursos humanos formados en la academia, se espera que su capacitación permanente contribuya a que determinados sectores cuenten con el capital necesario para su crecimiento; para lo cual resulta importante que la capacitación se conciba de manera flexible y orientada a la especialización. Y, entre otras cosas, que propicie que los trabajadores puedan aprender de sus colegas más experimentados, conocer con mayor amplitud su área o campo de trabajo, identificar fallas, fomentar el desarrollo de nuevos procesos o conocimientos y aplicarlos.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS, INNOVACIÓN Y PRODUCTIVIDAD: CASOS PRÁCTICOS

Las multinacionales constituyen un claro ejemplo del aporte de la capacitación en el trabajo, el reclutamiento de recursos humanos especializados para el aprendizaje y la innovación en el sector productivo. De acuerdo con Contreras y Carrillo (2011), estas son empresas que operan en mercados globales altamente competitivos, por lo que necesitan transferir capacidades técnicas y gerenciales a sus filiales y proveedores locales, para que sean capaces de cumplir con sus exigentes estándares de calidad y a la vez disminuir sus costos de producción (Ernst y Kim 2002; Gereffi 1999). Lo anterior, no sólo mediante el reclutamiento de personal muy calificado sino a través de su capacitación y envío a la filiales locales, para que realicen funciones estratégicas.

A diferencia de las empresas nacionales y locales, las multinacionales son observadas como incubadoras de negocios, que proporcionan experiencia y conocimientos para los nuevos empresarios, que en muchos casos, según Contreras y Carrillo (2011), se convierten en sus principales o únicos clientes. Una de las causas fundamentales de lo anterior es que los empleados (por lo general vinculados a actividades de I+D) salen de la firma para explotar innovaciones que antes realizaron donde laboraban (capacitación en el trabajo); o bien, los *spin-offs* surgen para explotar el capital humano adquirido por los empleados como subproducto de su trabajo en firmas intensivas en tecnología.

En el caso de México, Contreras y Carrillo (2011) encuentran que pese a que las multinacionales con frecuencia son criticadas por diversos sectores,⁸ constituyen claros ejemplos de formación y aprovechamiento de recursos humanos para el desarrollo de innovaciones, tanto en el interior como al exterior, al promover la instauración de empresas locales. Así pues, una tercera parte de ellas (33.5 por ciento) ha tenido algún desprendimiento tipo *spin-off*, mediante el cual alguno de sus empleados abandonó la firma para establecer su propio negocio y, por tanto, también contribuyen a la generación de empleos.

Figura 3
Resultados del modelo de regresión lineal

Variable Kurzweil-Henstock	Esfuerzos tecnológicos-organizativos Dimensión 1		Cambio tecnológico y generación de nuevos productos Dimensión 2	
	Sin instrucción	-0.2216**	-0.158**	-0.0181
Primaria	-0.0769**	-0.070**	-0.0043	0.014
Secundaria	0.0999**	0.053**	-0.0125	0
Bachillerato	0.1428**	0.034**	0.0085	-0.008
Profesional	0.1552**	0.178**	0.03*	0.004
Posgrado	0.0988**	0.079**	0.0433**	-0.017
Mandos altos con escolaridad baja	-0.2677**	-0.254**	-0.0224	-0.019
Mandos altos con escolaridad alta	0.2677**	0.254**	0.0224	0.019
Mandos medios con escolaridad baja	-0.1397**	-0.127**	-0.0123	0.017
Mandos medios con escolaridad alta	0.1397**	0.127	0.0123	-0.017
Obreros con escolaridad baja	-0.0898**	-0.088**	-0.0142	0.027
Obreros con escolaridad alta	0.0898**	0.088	0.0142	-0.027
Capacitación	0.3705**	No disponible	0.0103	No disponible

Fuente: Valenti (2011)

⁸ Obtienen rentas monopólicas, abusan de su poder de mercado, producen desinversiones nacionales, y diseminan sus beneficios de manera inequitativa.

Valenti (2011) analizó, en forma específica, el papel de la escolaridad y la capacitación respecto a los esfuerzos tendientes a la innovación dentro de las manufactureras en México entre 1992 y 2005, periodo en que el gobierno puso especial énfasis en la expansión de la educación en todos los niveles, y se introdujo en la agenda pública el tema de la calidad y pertinencia de la formación. Los principales resultados del análisis indican que es significativo, para la inversión en tecnología y nuevas formas de organización dentro de una compañía manufacturera, que los altos mandos tengan escolaridad alta, con lo que se reafirma que el perfil directivo es importante para enfilar a las empresas hacia el cambio tecnológico.

Por otra parte, el análisis de 1992 indica que fue más importante la capacitación que cualquier otra variable de capital humano, medida por la escolaridad, para explicar el hecho de que los establecimientos manufactureros tengan esfuerzos tecnológicos/organizativos. Lo que enfatiza que éstos deben acompañarse de capacitación, para promover una absorción adecuada de la tecnología. Lo anterior no debe pasar por alto que cualquier proceso de capacitación es mucho más efectivo cuando las personas cuentan con más y mejores conocimientos y habilidades básicas, que proporciona la educación formal.

Los altos porcentajes de trabajadores con escolaridad baja (sin instrucción o apenas primaria) se relacionan con el hecho de que el establecimiento no invierta en mejoras tecnológicas/organizativas o tenga inversiones atrasadas. Esta relación cambia a partir de secundaria, pero se vuelve más importante con el bachillerato. Este hallazgo subraya que la educación superior en los empleados se entiende como un mecanismo de absorción tecnológica dentro de las empresas manufactureras.

La medición del cambio tecnológico en el establecimiento implica estudiar la decisión de adoptar o generar tecnología nueva o métodos organizativos; varios modelos han tratado de explicar esta decisión. Con aportaciones como la de Rosenberg (Mukoyama 2006) se reconoce que las habilidades de los trabajadores y el estatus del sector de bienes de capital para llevar ideas nuevas a la comercialización son elementos importantes de la difusión o adopción de la tecnología, pues influyen en la implementación y operación de invenciones, así como en la apertura o intercambio comercial.

Para analizar más a detalle la relación entre capital humano y esfuerzos de innovación o cambio tecnológico, en los establecimientos manufactureros mexicanos, se recupera un modelo de regresión lineal, basado en la dimensión 1, que es el índice de esfuerzos tecnológicos/organizativos. En este modelo, α es el intercepto con el eje de las ordenadas; K es el vector referente al capital humano operacionalizado a través de dos variables: a) escolaridad promedio de los trabajadores, eventuales y de planta, del establecimiento⁹ y b) capacitación externa que le otorgan a los empleados;¹⁰ E es un vector que recoge características de los establecimientos que pueden estar desempeñando un papel en la transferencia de conocimiento, que son: a) el tamaño,¹¹ en las categorías micro, pequeña, mediana y grande; b) si la empresa tiene al menos 1 por ciento de participación de capital extranjero en el capital social; c) si importa al menos 1 por ciento de sus materias primas o insumos (importa) y d) si exporta al menos 1 por ciento de sus ventas a otros países (exporta).

Para controlar por una variable de mercado laboral se introdujeron las remuneraciones entendidas como salario y prestaciones promedio en la empresa, en pesos corrientes. Por último, ε es el término de error aleatorio. Los resultados de dicho modelo¹² para el conjunto de los establecimientos manufactureros se exponen en la [figura 4](#).

⁹ La escolaridad se calculó a través de un promedio ponderado. La ponderación es una aproximación de la escolaridad en años, por nivel educativo (sin instrucción y primaria el factor fue de 2.5; para primaria completa 6; para secundaria completa 9; para bachillerato completo 12; licenciatura 17 y posgrado de 20). En cada nivel educativo se declara el número de trabajadores eventuales y de planta.

¹⁰ La pregunta concreta que recoge esta variable es “¿recurre a agentes externos para proporcionar capacitación a sus empleados?” Por lo que se trata de una variable dicotómica.

¹¹ Definido por el rango de número de empleados igual al criterio de la Encuesta nacional de empleos, salarios, tecnología y capacitación.

¹² En ambos años, el poder explicativo de los modelos no es muy alto, aunque en 2005 se incrementó

Figura 4
Modelo mínimos cuadrados ordinarios para vectores de capital humano,
características de la empresa y remuneraciones,
1992 y 2005*

Variable dependiente: dimensión 1 o índice de cambio tecnológico/organizativo				
Variable independiente	Años			
	1992		2005	
	Coeficiente	Error típico	Coeficiente	Error típico
Constante	1.878	0.379	1.476	0.12
Escolaridad promedio en los trabajadores (años)	0.055**	0.028	0.053***	0.008
Capacitación externa (sí/no)	0.204	0.131	0.167***	0.042
Tamaño de empresa	0.192***	0.077	0.222***	0.020
Capital extranjero	-0.101	0.188	0.001	0.042
Importa materias primas	0.376***	0.137	0.132***	0.035
Exporta	0.008	0.165	0.155***	0.035
Remuneraciones	8.64E-07	0.001	9.45E-06***	0.001
R cuadrada (por ciento)	8.3	12.6		

Fuente: elaboración propia.

Notas: con la realización de las pruebas convencionales de comprobación de supuestos acerca del comportamiento de los errores, se corroboró su normalidad con media 0 y varianza 1, tampoco hubo problemas de patrones en el comportamiento de éstos, Figurados frente a la variable dependiente, se distribuyen en una banda. El método de introducción de variables fue ENTER.

* Total de establecimientos manufactureros en México.

**Variable significativa a 10 por ciento.

***Variable significativa a 5 por ciento.

Para ambos años se observa que algunas características de los establecimientos explican la adopción de tecnología e innovación, mejor que las variables de capital humano, por lo que el planteamiento de la teoría del capital humano, que asocia el cambio tecnológico con el incremento en los años de escolaridad, pierde poder explicativo al analizar el sector manufacturero de México.

Dicha idea no sugiere que deba dejar de apostarse a la formación de recursos humanos, sino que debe acompañarse de la generación de condiciones que incentiven el cambio tecnológico de manera directa, lo que confirma los resultados del apartado anterior, en el sentido de que los esfuerzos en educación no son significativos per se para explicar el crecimiento económico. En otras palabras, los esfuerzos tendientes a la innovación se explicarían por la interacción entre diversas variables económicas y de orden institucional y no sólo por el incremento del acervo de capital humano.

Más aún, la innovación también está asociada a dimensiones macroeconómicas, como la apertura de los mercados. Los resultados del análisis muestran que, en contextos más competitivos, aspectos relacionados con el capital humano, como mayor escolaridad y capacitación, tienen más peso explicativo, aunque no lineal. En 2005, algunas variables se volvieron significativas, pero no lo eran en 1992, cuando apenas empezaba la apertura comercial, previa a la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Por ejemplo, sobresalió la capacitación externa y, de hecho, tuvo un peso importante en la explicación del cambio tecnológico; aunque está más asociada con la innovación, en comparación con la escolaridad.

CONCLUSIONES

Una de las primeras conclusiones en torno a la formación de recursos humanos es que la educación formal tiene un peso explicativo parcial en el desarrollo del sector productivo, y de ninguna manera su aporte puede considerarse lineal. En consecuencia, toda política pública, cuya teoría causal de crecimiento económico sea sólo la del incremento de la escolaridad de la población estaría limitando seriamente sus probabilidades de éxito. La potencialidad de los profesionales con escolaridad alta, respecto al incremento de la productividad, requiere de un medio ambiente laboral específico en el que pueda aplicar su conocimiento y desarrollarlo.

En el artículo se identificaron tres variables principales, consideradas complementarias, para que el sector productivo sea dinámico y aporte al desarrollo institucional y nacional: a) incorporar recursos humanos con alta capacitación; b) incluir la capacitación laboral como una herramienta complementaria a la formación escolar, de la cual abarca desde la oferta de cursos especializados y focalizados entre los empleados, hasta el aprendizaje entre pares y c) adoptar conocimiento nuevo de forma continua, para esto último el vínculo con las instituciones de educación superior y los centros públicos y privados de investigación resulta fundamental.

A pesar de que existen casos como el de las multinacionales, expuestos por Contreras y Carrillo (2011), donde el sector productivo nacional parece ser capaz de autogestionarse para inducir la innovación; se considera necesaria la orientación de éste, a través de políticas públicas, para reconciliarlo con el académico, que hasta ahora han permanecido distanciados y a la vez desilusionados por el papel de una y otra parte. Por un lado, un sector académico que no encuentra lugar en el productivo para desempeñarse laboralmente y, por otra parte, un ramo productivo que no encuentra en la oferta a los recursos humanos que necesita. Es en este aparente dilema que su vinculación se observa como indispensable, para permitir su retroalimentación mutua, y responder de manera más eficaz y asertiva a las necesidades de mejora del sector productivo.

BIBLIOGRAFÍA

Alzaga, Oscar. 1994. La productividad por decreto. *La Productividad en la Encrucijada* 64.

Barro, Robert. 1991. Economic Growth in a Cross-section of Countries. *Quarterly Journal of Economics* 106 (2).

Becker, Gary. 1983. *El capital humano*. Madrid: Alianza Editorial

- _____. 1975. *Human capital, a Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. Nueva York: National Bureau of Economic Research.
- _____. 1964. *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. Nueva York: National Bureau of Economic Research.
- _____, Kevin M. Murphy y Robert Tamura. 1990. Human Capital, Fertility, and Economic Growth. *The Journal of Political Economy* 98 (5): 512-537
- Bonal Sarró, X. 1998. *Sociología de la educación: una aproximación crítica a las corrientes contemporáneas*. Barcelona: Paidós.
- Bracamonte, Alvaro y Oscar Contreras (coordinadores). 2011. Un modelo de política para fomentar la co-evolución entre la ciencia y tecnología con la innovación: el caso mexicano. En *Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo económico*, coordinado por Alvaro Bracamonte y Oscar Contreras, 103-151. Hermosillo: El Colegio de Sonora y Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COLSON-COECYT).
- Cameron, G. 1998. Innovation and Growth: A Survey of the Empirical Evidence. Centre for Economic Performance, London School of Economics, mimeo.
- Caselli, Francesco y Coleman II. 2001. Cross-country Technology Diffusion: The Case of Computers. *American Economic Review, American Economic Association* 91 (2): 328-335.
- Cimoli, Mario (coordinador). 2008. *Espacios iberoamericanos. La economía del conocimiento*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Contreras, Oscar y Jorge Carrillo. 2011. Las empresas multinacionales como vehículos para el aprendizaje y la innovación en empresas locales. En *Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo económico*, coordinado por Alvaro Bracamonte y Oscar Contreras, 325-354. Hermosillo: COLSON-COECYT.
- Davenport, Thomas O. 1999. *Human Capital. The Jossey-Bass Business and Management*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Dávila, Enrique R. 1988. La teoría clásica del capital humano. Seminario Instituto Tecnológico Autónomo de México y El Colegio de México.
- Dutrénit, Gabriela, Martín Puches, Luis Sanz, Morris Teubal y Alexandre Vera Cruz. 2011. Un modelo de política para fomentar la co-evolución entre la ciencia y tecnología con la innovación: el caso mexicano. En *Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo económico*, coordinado por Alvaro Bracamonte y Oscar Contreras, 103-152. Hermosillo: COLSON-COECYT

- _____, Celso Garrido y Giovanna Valenti (editores). 2001. *Sistema Mexicano de Innovación Tecnológica. Temas para el debate en México*. México: UAM.
- Ernst, D., y L. Kim. 2002. Global Production Networks, Knowledge Diffusion, and Local Capability Formation. A Conceptual Framework. East-West Center Working Papers Series No. 19. Estados Unidos
- Gereffi, G. 1999. International Trade and Industrial Upgrading in the Apparel Commodity Chain. *Journal of International Economics* 48 (1): 37-70
- INEGI. 2009. Encuesta nacional de educación, capacitación y empleo.
- _____. 2004. Encuesta nacional de ocupación y empleo (cuarto trimestre).
- Mukoyamak, Toshihiko. 2006. Rosenberg's Learning by Using and Technology Diffusion. *Journal of Economic Behavior Organization*, Elsevier 61 (1): 123-144.
- Romer, Paul. 1991. Capital, Labor and Productivity, National Bureau of Economic Research, Working paper 1496.
- _____. 1986. Increasing Returns and Long-run Growth. *The Journal of Political Economy* 94 (5):1002-1037.
- Sánchez Castañeda. 2007. La capacitación y adiestramiento en México: regulación, realidades y retos. *Revista Latinoamericana de Derechos Sociales* 5: 191-228.
- Smith, Adam. 1976. *Riqueza de las naciones*. México: América.
- Stuart Mill, John. 1943. *Principios de economía política. Con algunas de sus aplicaciones a la filosofía social*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Valenti, Giovanna. 2011. *Construyendo puentes, entre el capital humano y el Sistema de Innovación*, México: FLACSO-México.

PARTE II

SONORA: EXPERIENCIAS DE INNOVACIÓN Y ESCALAMIENTO COMPETITIVO

MICROSISTEMAS DE INNOVACIÓN: PARQUES TECNOLÓGICOS EN SONORA

Nydia Angélica Valenzuela Básaca¹

Alvaro Bracamonte Sierra²

INTRODUCCIÓN

Hay evidencia empírica que demuestra que los parques tecnológicos (PT) han sido una vía eficaz para generar un entorno de innovación, que favorece a un desarrollo anclado en lo que hoy se llama nueva economía o economía del conocimiento. Prueba de ello es su implantación y multiplicación mundial y, en esa dinámica, la adopción de dicha estrategia en México y en Sonora. En los PT se practica una variedad importante de esquemas de apoyo a la investigación científica y, sobre todo, al desarrollo tecnológico y la innovación; estas actividades contrastan con los parques industriales (PI) tradicionales, que habitualmente se vinculan sólo al ensamble industrial. Los PT pueden catalogarse como microsistemas de innovación, pues en ellos se establecen patrones organizacionales y sinergias específicas que potencian la interacción entre las universidades, los centros de investigación, las empresas y el sector público.

El objetivo es analizar si en los PT de Sonora se están creando los vínculos efectivos entre empresa, sector académico y gobierno, que impliquen la generación de un ambiente de innovación y mayor competitividad subregional, ordenado en ramas productivas basadas en el uso intensivo de la tecnología. Para ello se analiza el funcionamiento de los PT establecidos en la entidad, a fin de determinar si operan de acuerdo a lo que señala la literatura. Para tal efecto, este ensayo se organiza en dos apartados; el primero se titula Interconexión entre el Sistema Regional de Investigación (SRI) y los parques tecnológicos, en el que se hace una reflexión sobre los PT como parte de la infraestructura propia de ambientes de innovación dinámicos, y un análisis en torno a que éstos constituyen o pueden considerarse microespacios de interacción entre los agentes del SRI. El segundo apartado, La naturaleza de los PT en Sonora, constituye la parte central donde se analiza el funcionamiento de estos parques a partir de la observación y la aplicación de una entrevista semiestructurada. Los hallazgos son interesantes y permiten sacar conclusiones sobre la forma en la que operan y su papel en la construcción de una economía basada en el conocimiento. Antes se revisó el contexto de la política científica, enmarcada fundamentalmente en el Programa para el Desarrollo de la Industria del Software (PROSOFT), que dio pie al surgimiento de los PT. Después se examinaron los antecedentes de los parques establecidos en Sonora, desde el Plan de los Diez Años, del

¹ Egresada de la maestría en ciencias sociales de El Colegio de Sonora, línea de globalización y territorio. Correo electrónico: anyielic88@hotmail.com

² Doctor en ciencias económicas y profesor-investigador de El Colegio de Sonora (COLSON). Correo electrónico: abraca@colson.edu.mx

gobernador Luis Encinas Johnson (1961-1967), hasta la promoción de esta infraestructura durante la pujante industrialización derivada del establecimiento de maquiladoras primero, y después con la instalación y ampliación de Ford Motor Company. Para finalizar se atisbaron un conjunto de conclusiones que resaltan las fortalezas o limitaciones de los PT como estrategia de aceleración de ambientes de innovación, mediante el fomento de dichos microsistemas de vinculación.

INTERCONEXIÓN ENTRE EL SISTEMA REGIONAL DE INVESTIGACIÓN Y PARQUES TECNOLÓGICOS

La literatura especializada vincula a los PT con la infraestructura necesaria para la conformación de una nueva dinámica económica fundada en el uso intensivo de la tecnología y la innovación; de igual modo, estos parques se consideran esenciales para propiciar ambientes de innovación apropiados, que son estudiados en el enfoque analítico del SRI.

Como es conocido, las referencias tempranas en torno al funcionamiento de un SRI señalan que está constituido por tres actores, el tejido empresarial, el sector público y las instituciones de educación superior e investigación científica,³ que interactúan tanto a escala regional como nacional, para lo cual se requiere un ambiente que favorezca la vinculación entre ellos; existe una variedad amplia de estrategias que promueven esos lazos. Por ejemplo, destacan los incentivos otorgados a los tecnólogos para que se involucren en el desarrollo de prototipos para el ramo empresarial, de igual forma sobresalen los esfuerzos del sector público tendientes a conformar un verdadero sistema de innovación, en donde se multipliquen y potencien las sinergias innovadoras. Otro esfuerzo en ese sentido son los PT, en cuyos espacios delimitados se reúnen las características ideales definidas por la teoría para el reforzamiento de las interacciones de los componentes del sistema de innovación, a lo que se le llamará microsistemas de innovación.⁴

Desde la perspectiva de la economía evolucionista, la innovación es el determinante medular de la prosperidad de las naciones y del escalamiento competitivo de las empresas. Freeman (1995) y Lundvall (1992 y 2007) introdujeron la noción de Sistema Nacional de Innovación (SNI), para explicar las dinámicas de crecimiento económico basadas en empresas de base tecnológica u orientadas al uso intensivo del conocimiento. La definición de Freeman hace hincapié en las interacciones entre las instituciones, pues refiere que el SNI es una red conformada por las de los sectores público y privado, que inician, importan, modifican y difunden tecnologías nuevas. Lundvall plantea el concepto aprendizaje colectivo, como un sistema social, cuya actividad central es el aprendizaje interactivo entre personas y organizaciones.

A partir de los trabajos de Freeman y Lundvall, el enfoque del SNI comenzó a utilizarse pues posee propiedades explicativas, respecto a fenómenos complejos derivados de la reindustrialización posttoyotista. Pero, sobre todo, tiene una enorme influencia en el diseño de políticas de intervención en materia científica y tecnológica. Por ello, con frecuencia llegó a ser adoptado como concepto orientador en la formulación e implementación de políticas públicas (Sharif 2006). En este sentido, el concepto ha demostrado tener un amplio potencial teórico y práctico, lo que permite comprender la abundante literatura ligada al programa de investigación propuesto originalmente por los autores referidos. Sin embargo, en el marco de esas reflexiones llama la atención la escasez de modelos de simulación centrados en los sistemas y procesos de innovación.

³ Aportaciones recientes agregan un cuarto componente: la sociedad civil organizada. Al respecto, consultar Lundvall et al. (2002).

⁴ El surgimiento de los PT en el contexto internacional se remonta a la década de 1950, una diferencia aproximada de 50 años, si se piensa en que los primeros antecedentes de esta infraestructura en México datan de los años noventa.

El concepto de SRI alude a un conjunto de organizaciones institucionales y empresariales que, dentro de un determinado ámbito geográfico, interactúan entre sí con la finalidad de asignar recursos a la realización de actividades orientadas a la generación y difusión del conocimiento sobre el que se apoyan las innovaciones. Al enfoque le interesan las redes por donde circulan los flujos de conocimiento plasmados en universidades, centros de investigación y agencias de capacitación; la vinculación débil o fuerte entre éstas y los empresarios es decisiva en la dinámica productiva regional o nacional. Los resultados en materia innovativa están sujetos a la referida interacción sistémica entre sus miembros, los cuales deben operar en una “razonable proximidad” y administrados tentativamente por un gobierno regional.

En el análisis de Heijs (2001) se aclara que la capacidad innovadora de un sistema (nacional o regional) no sólo depende de su esfuerzo cuantitativo en investigación y desarrollo (I+D) (gastos y personal) y de su infraestructura tecnológica,⁵ sino que también está atada a externalidades que por lo común genera la interacción entre los agentes del sistema. Estas vinculaciones se intensifican con la proximidad de los involucrados; es decir, las actividades innovadoras requieren un ambiente propicio donde es importante el intercambio recíproco de personal, conocimientos científicos y tecnológicos, servicios especializados e impulsos innovadores (Aydalot y Keeble 1988; Stohr 1988; Perrin 1988; Porter 1990; Koschatzky 1997, citado en Heijs 2001).

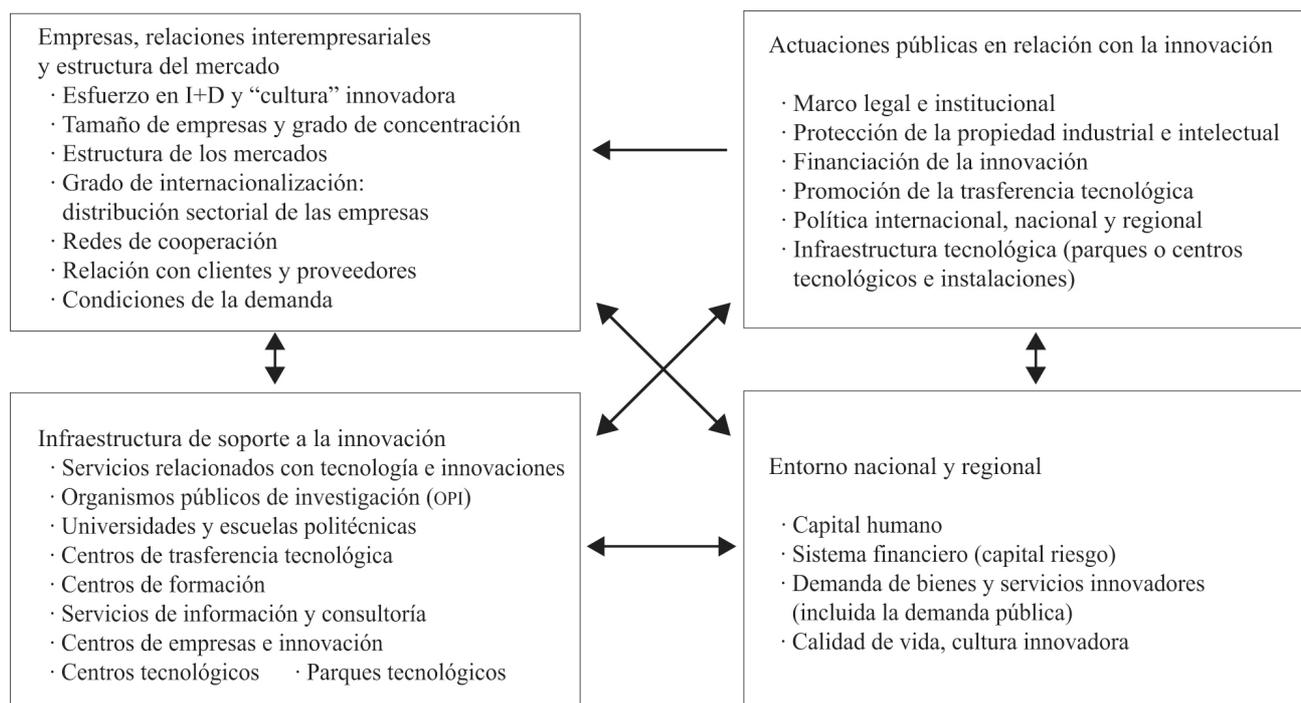
El enfoque de los SRI, como herramienta de análisis y de intervención pública en el avance de una economía basada en el conocimiento, ha adquirido una importancia creciente. En esa dirección, en los últimos años se advierte cómo cada vez más organismos públicos y privados están aceptando tácitamente el papel fundamental que juega la infraestructura de soporte en la creación y difusión del conocimiento. Esto se hace explícito al facilitar servicios de naturaleza tecnológica a los agentes empresariales o bien proporcionar el espacio material para la ubicación de la creación y difusión de conocimiento, y también coadyuvar en la organización de las interrelaciones entre los agentes del sistema.

Entre esos organismos, considerados como infraestructura para el avance científico, se cuentan los centros tecnológicos, los parques científicos y tecnológicos, las incubadoras de empresas de base tecnológica, las asociaciones de investigación, las fundaciones universidad-empresa o las oficinas de transferencia de resultados de investigación; todos han ido de la mano de la creciente influencia de las ideas impulsadas desde el pensamiento evolucionista acerca de los procesos de innovación y cambio tecnológico.

Este tipo de infraestructura va en la dirección formulada por los economistas evolutivos, quienes han sostenido que debido a la naturaleza de la tecnología, que es fruto del conocimiento, ésta requiere la apropiación de dicho conocimiento y el afianzamiento de los procesos de aprendizaje en los que, más allá del esfuerzo interno de los agentes implicados, intervienen las interacciones entre éstos dando lugar a intercambios formales o informales de información y a acciones de cooperación, cuya función principal es la canalización de las externalidades del conocimiento. Hay arreglos institucionales que facilitan tales interacciones, que conectan a las universidades y organismos públicos de investigación con las empresas; favorecen las relaciones contractuales para la realización de proyectos de investigación científica; resuelven los problemas de restricción de la competencia, derivados de la cooperación tecnológica entre las empresas; crean redes formales e informales de agentes innovadores o, en fin, fomentan la oferta de servicios e infraestructuras tecnológicas. Todo ello se facilita con la proximidad de los agentes involucrados, lo que se cumple con el tipo de infraestructura enlistada arriba; una de las más importantes son los PT.

⁵ Conjunto de centros e instituciones que llevan a cabo actividades innovadoras.

Figura 1
Componentes de un sistema de innovación



Fuente: Heijs (2001).

Los PT constituyen ambientes conformados expresamente para la interacción de los componentes del sistema de innovación; en ellos se establecen empresas innovadoras que aseguran una imbricación adecuada con los otros actores del sistema y, de ese modo, posibilitan la proveeduría de los bienes y servicios de una economía basada en el conocimiento. Dicho de otra manera, los PT proveen las condiciones para la interacción de organismos públicos de investigación, universidades y empresas innovadoras favoreciendo la canalización de la información y la cooperación entre ellos.

Parques tecnológicos

Para la Asociación Internacional de Parques Científicos y Tecnológicos (IASP), un PT es una organización gestionada por profesionales especializados, cuyo objetivo fundamental es incrementar la riqueza de su comunidad promoviendo la cultura de la innovación y la competitividad de las empresas e instituciones generadoras de saber instaladas en el parque o asociadas a él. Para tal fin, un PT estimula y gestiona el flujo de conocimiento y tecnología entre universidades, instituciones de investigación, empresas y mercados; impulsa la creación y el crecimiento de firmas innovadoras, mediante mecanismos de incubación y de generación centrífuga (*spin-off*), y proporciona otros servicios de valor añadido, así como espacio e instalaciones de gran calidad.⁶ Desde su aparición, a mediados del siglo pasado en Estados Unidos, los parques científicos y tecnológicos han experimentado un extraordinario crecimiento y una notable expansión geográfica, proceso que ha conducido a que el concepto tenga hoy en día interpretaciones distintas.

⁶ Consejo de Dirección Internacional de IASP (6 de febrero de 2002).

Figura 2
Criterios mínimos para diferenciar parques

Parque tecnológico, parque tecnológico y científico; medios de innovación; otras denominaciones			
El parque es más que un conjunto de edificios. Está legalmente constituido como instrumento de desarrollo económico y social	Las actividades no son sólo negocios. El parque y sus empresas sirven para crear conocimiento y elevan el contenido tecnológico de los factores productivos	Tiene relaciones formales operativas con alguna universidad cercana para transferir conocimiento y tecnología (I+D) entre empresas, departamentos y tejido industrial	
No	Sí	No	Sí
Vivero, incubadora Centro de Empresas e Innovación	Parque tecnológico	Parque industrial, parque empresarial	Parque tecnológico y científico

Fuente: Ondátegui (2001).

Ondátegui (2001) presenta algunos criterios mínimos para diferenciar los parques en función de que existan o no vinculaciones reales con centros de investigación y compromisos de desarrollo tecnológico y económico, con el tejido en que se localizan las iniciativas (véase [figura 2](#)). Según el gobierno español, un parque tecnológico se diferencia de uno científico por su mayor énfasis en actividades de producción, pero la frontera es difusa. Son pocas las diferencias entre uno y otro (véase [figura 3](#)). Con seguridad, las más básicas se refieren a la dimensión y a la posible admisión de actividades productivas. Según Sanz (2004), el parque científico por antonomasia es el que existe en el Reino Unido (modelo británico), mientras que el tecnológico haría referencia al modelo mediterráneo, más propio de Francia, España, Italia y Portugal.

Figura 3
Diferencias principales entre los parques científicos y tecnológicos

Parque científico	Parque tecnológico
Dimensiones medias o pequeñas	Dimensiones medias y grandes
Muy vinculado a una universidad	Disponibilidad de suelo y techo en venta o alquiler
Enfocado hacia actividades empresariales de I+D y a la generación de <i>spin-offs</i>	Admite actividades productivas y manufactureras (industria), con limitaciones
Poco énfasis en actividades manufactureras	
Oferta comercial centrada en alquiler o venta de espacios ya edificados	

Fuente: Sanz (2004).

Las principales definiciones presentadas en este análisis no distinguen un tipo de modelo, y engloban tanto a los parques científicos como a los tecnológicos, a pesar de las diferencias entre ambos. Para terminar se exponen algunas de las principales características que definen un PT (Hodgson 1994):

- Es un proyecto inmobiliario que conlleva beneficios en el ámbito de imagen; es decir, es un negocio inmobiliario que busca rendimiento económico para su promotor.
- Es una comunidad de negocios de tecnología que obtiene beneficios y proporciona valor a cada uno de sus partícipes, debido a su red de intereses mutuos.
- Es un nodo que identifica una comunidad internacional aún más amplia de intereses en el negocio de la comercialización de tecnología.
- Es un imán para las inversiones fuertes en tecnología. Atrae a los negocios que se dedican a aplicar una tecnología innovadora.
- Es un puente hacia el campo comercial de la investigación, aspecto de importancia para los intereses comerciales.
- Es una incubadora de actividades basadas en tecnología, que permite a los investigadores iniciar un negocio utilizando sus ideas innovadoras, sin tener que abandonar su trabajo académico.

Este concepto es importante, pero no es el principal; debe estar relacionado con un centro tecnológico formal que proporcione los servicios requeridos que den soporte a las empresas que lo integran, ya que los parques científicos y tecnológicos así como los centros tecnológicos forman parte de los denominados “sistemas nacionales o regionales de innovación” y, como en todos los sistemas, no sólo es la existencia o eficacia de los elementos la que influye en su funcionamiento, sino que son los vínculos e interrelaciones los que tienen una importancia decisiva.

LA NATURALEZA DE LOS PT EN SONORA

Para abordar el funcionamiento de los PT establecidos en Sonora se observó a los responsables operativos de ellos, y se les aplicó un cuestionario semiestructurado. Antes se analizó de manera breve la política industrial y científica que enmarcó el surgimiento primero de los PI y luego de los PT que es una modalidad, como se sabe, íntimamente relacionada con la conformación de una economía basada en el conocimiento.

La política científica y tecnológica y los PT en México y Sonora

El desarrollo económico de las naciones está marcado en la actualidad por la evolución de su base científica y tecnológica. La tecnología, el conocimiento, como factor productivo y, desde luego, la innovación no pueden seguirse considerando temas secundarios de la agenda del crecimiento sostenible en el largo plazo. Más bien podría afirmarse que, de acuerdo con la evidencia empírica, son propiamente el desarrollo. En este entorno, una de las tareas primordiales de todo gobierno es facilitar la creación y consolidación de empresas de alto valor agregado. Para lo que es prioritario el establecimiento de espacios estratégicos para la ubicación de esa clase de firmas. El gobierno federal ha reconocido que los PT son centrales en ese esquema de promoción, al considerarlos como parte medular de la estrategia de escalamiento científico y tecnológico.

En México es notable el impulso de los PT como un mecanismo para generar inversión, investigación y conocimiento, y elevar la productividad en sectores económicos de alta tecnología. Sin embargo, sus atrasos en ciencia, tecnología e innovación lo colocan en una posición rezagada en las mediciones de competitividad de los países que integran la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE); en específico, en el establecimiento de los PT el diferencial es de unos cincuenta años, si se ubica el origen de éstos en la década de 1950, en Silicon Valley, y el de México a principios del año 2000, con las estrategias del programa PROSOFT por incentivar la competitividad.

El PROSOFT está convertido en el principal instrumento de política pública nacional dedicado a la promoción de una plataforma productiva de base tecnológica. La operación del programa se divide en dos etapas; la primera (2002-2007) se organizó a través de siete objetivos: a) promover las exportaciones y la atracción de inversiones; b) educar y formar personal competente en el desarrollo de *software*, en cantidad y calidad convenientes; c) contar con un marco legal promotor de la industria; d) impulsar el mercado interno; e) fortalecer a la industria local; f) alcanzar estándares internacionales en capacidad de procesos y g) promover la construcción de infraestructura física y de telecomunicaciones.⁷

Los proyectos apoyados por el PROSOFT para parques tecnológicos contribuyeron a la generación de empleos; además, se identificaron cinco agrupamientos empresariales que, por sus características de infraestructura y congregación empresarial, en un futuro pueden promover la creación de más parques. Hay que tener presente que en esos años los PT existentes se encontraban en su fase inicial de construcción o planeación estratégica; sin embargo, los apoyos estimulaban el potencial para la generación de empleos (13 780), y su transformación en centros de innovación y de generación de nuevos productos, conocimiento y tecnologías.

En la segunda etapa mantuvo el objetivo de conformar PT nuevos mediante la promoción de ejes de distribución (*hubs*) y la operación de agrupamientos empresariales; ello como muestra de la necesidad de generar en la industria local un ambiente que incentivara a las empresas a unir esfuerzos para lograr una mayor capacidad productiva. Este proceso fue facilitado mediante cuatro medidas, de las cuales destacan las siguientes: a) promoción de parques orientados a la industria de servicios de tecnología de la información (TI) en localidades con infraestructura y condiciones idóneas para la instalación de nuevas empresas; b) creación de *hubs* de TI que buscan desarrollar ciudades Tier 2, y favorecer la inversión en otras alternas, contar con indicadores e información actualizada de los paquetes y estrategias estatales de desarrollo de la industria local de TI, así como de los PT/centros aglomeradores de empresas; c) promoción de establecimiento y fortalecimiento de *clusters*, para impulsar las capacidades, madurez y competitividad y d) estimular a las empresas integradoras, mediante la difusión de los beneficios para que las pequeñas y medianas se integren para elevar su escala de producción.

De acuerdo con los programas de ciencia y tecnología, la estabilidad macroeconómica en México brinda un contexto favorable para realizar esta tarea, y promover la productividad en cada uno de los sectores económicos. A esta estabilidad se suma su ubicación geográfica, su perfil demográfico y desarrollo tecnológico, así como otras fortalezas de empresas del ramo.

⁷ Entre los avances de la referida estrategia se identificaban seis PT, que de 2004 a 2006 generaron una inversión de 227 millones de pesos, y en los cuales la Secretaría de Economía participó con 36 por ciento. Durante 2007, el fondo PROSOFT aportó más de 25 millones de pesos para impulsar proyectos de PT en los rubros de equipamiento tecnológico, habilitación de espacios, consultoría y asesoría especializada (Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2008-2012).

Antecedentes

En los últimos años, Sonora se ha destacado entre los estados que albergan empresas ligadas al ámbito del conocimiento como la aeronáutica, electrónica y tecnologías de la información (Bracamonte 2012; Contreras y Bracamonte 2012; Ibarra 2012). Esto ha permitido abrir las puertas a los actores productivos para generar investigación y procesos de innovación, y con ello la conformación de un novedoso tejido industrial integrado por pequeñas y medianas empresas del ramo tecnológico y de conocimiento, con gran potencial de desarrollo.

La lógica a escala nacional de la política industrial y los PT aplica para la entidad. Los inicios de Sonora como estado industrial se remontan a la Administración de Luis Encinas Johnson, con el Plan de Diez Años (1963), mediante el cual se proponía transformar la economía estatal de agrícola a industrial; el Programa Nacional Fronterizo (1961) y PROSOFT (1965), ambos federales, dotaron a municipios fronterizos de cierta infraestructura: carreteras pavimentadas, parques industriales con electricidad y agua, edificios, etcétera. De la misma forma, hubo un asentamiento considerable de plantas maquiladoras durante ese tiempo.

Entre 1960 y 1970, el proyecto industrial del desarrollo económico regional enfrentó la disyuntiva entre una estrategia endógena vinculada a los sectores productivos tradicionales, y la emergencia de fuerzas industriales nuevas provenientes del exterior, lideradas por la industria maquiladora de exportación (Vázquez y Hernández 2008). El objetivo posterior fue ampliar y modernizar la infraestructura para el establecimiento de inversión extranjera en gran escala. La reacción más importante fue la inversión de empresarios locales en parques industriales privados pequeños para maquiladoras. Con ello el gobierno promovía el concepto de *shelter*. A partir de 1981, el Sistema Estatal de Parques Industriales cubrió gran parte de la geografía sonorensis; en ese momento existían ocho, que contaban con los servicios necesarios para su funcionamiento: urbanización, energía eléctrica, agua, comunicaciones, combustible, gas natural entubado, etcétera. Contreras y Bracamonte señalan que

al momento de entrar en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, la transición hacia la economía industrial basada en manufacturas de exportación estaba prácticamente concluida, y eran este tipo de actividades ligadas al capital transnacional las que definían los principales indicadores de desempeño económico regional. Ya para el final de la década las actividades más altamente exportadoras eran las manufacturas modernas; las maquiladoras y la industria automotriz representaban más del 75 por ciento del valor de las exportaciones totales, y sólo algunos segmentos primarios recobraron presencia como altamente exportadores (2008).

Para 1990, Sonora presentó nuevas tendencias de ubicación geográfica, como resultado de los cambios en el patrón tradicional de localización industrial, lo que llevó a una división territorial del trabajo y a especializaciones regionales nuevas. Según Wong (1998), la configuración novedosa del espacio sonorensis tuvo dos factores como bases fundamentales:

- La localización de nuevas inversiones, como la planta Ford en Hermosillo y la ampliación de las industrias ya existentes, en especial la Planta de Cementos Mexicanos y Cementera del Yaqui, S.A., las cuales, como era de esperarse, se ubican en el principal centro urbano de la entidad, y sus actividades son exportadoras intensivas en capital, y algunos segmentos de sus procesos productivos están altamente automatizados.

- La llamada nueva industrialización rural, ligada a la entrada de la industria maquiladora hacia los lugares más apartados de la región sonorense, donde queda de manifiesto la capacidad de la maquila para instalarse en cualquier espacio de la geografía nacional y regional.

Lo anterior se puede interpretar como una reconfiguración de la economía sonorense. Se percibe así una evolución de los indicadores clave de la actividad económica, la cual ya no estará anclada sólo a los sectores productivos tradicionales, sino que empiezan a emerger otros polos de desarrollo pensados en estructuras muy tecnificadas, y con miras a producir para el mercado internacional y no sólo para el local o regional. Éstas se localizan en la industria automotriz y de autopartes, electrónica, aeronáutica, médica, agroalimentaria y de *software*.

Política de industrialización y los PT

Entre las estrategias y líneas de acción del Plan Estatal de Desarrollo (PED) 2004-2009, se señala como necesario fortalecer las ventajas competitivas de Sonora, a través de la integración de redes y conglomerados de empresas. Sin embargo, aun con los esfuerzos de los gobiernos estatales por conseguir una industrialización endógena, el resultado ha sido de carácter exógeno a partir de la maquila y los *clusters*.

Helmsing (1999) distingue tres etapas o momentos de creación de políticas de desarrollo regional: las de primera, segunda y tercera generación. Para las primeras hay apoyo de factores exógenos, donde el Estado, con sus disposiciones de regulación económica, estímulos financieros y dotación de infraestructura, influye en la localización de las empresas. La segunda ocurrió durante los años ochenta y se caracterizó por los distritos industriales, medidas de especialización flexible y la cooperación entre empresas, que tomó forma en una política de características endógenas para el desarrollo industrial y regional, es decir, una nueva etapa para éste. En ella se identifican modalidades como la subcontratación y el *outsourcing*. La tercera generación se sustentó en la creación de *clusters* y políticas de localización y competitividad sistémica.

En relación con la última etapa se pueden ubicar ejemplos ilustrativos, como el proyecto de expansión e integración de proveedores de la planta de ensamble automotriz Ford en Hermosillo (Sandoval y Wong 2005). La presente administración estatal pretende, según los ejes rectores del PED, potenciar la infraestructura física, legal y educativa, para abrir oportunidades de negocios y cooperación, como prioridad de las políticas públicas del desarrollo económico. Así como de potenciar la base empresarial, la innovación tecnológica y el emprendimiento.

Según esta lógica, es posible ubicar una cuarta fase de reestructuración de la economía sonorense, donde se introduce la figura de los PT. Y, como ya se mencionó, esta es una aparición tardía en comparación a experiencias internacionales y de acuerdo al origen de los parques tecnológicos; pese a ello, la introducción de este modelo de crecimiento económico, basado en la innovación, es de los primeros en el país y también de los más ambiciosos.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA EN SONORA

Aquí se discuten las capacidades locales en materia de infraestructura para el desarrollo de una plataforma productiva ligada a la economía del conocimiento, es decir, los microsistemas de innovación representados en los PT. De acuerdo con la información proporcionada por el gobierno, existen 40 parques industriales concentrados en Hermosillo (32.5 por ciento) y en Nogales (22.5). Por otra parte, el Sistema de Nacional de Incubación de Empresas registra en Sonora 22 incubadoras clasificadas en las de negocios tradicionales (7),

de negocios de tecnología intermedia (14) y de negocios de alta tecnología (1). De igual modo se reconocen tres PT: el Sonora Soft, de Ciudad Obregón, el Staadis del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y el Hermosillo.⁸

Descripción de los parques seleccionados para la muestra

Parque Tecnológico Software Sonora Soft

El Sonora Soft se localiza en Ciudad Obregón, a 22.8 km del Aeropuerto Internacional de Ciudad Obregón, el segundo más importante del estado. Se ubica a 148 km del puerto de Guaymas, aspecto que no se considera una limitante dadas las tendencias de relocalización de segmentos productivos asociados a la innovación, que prestan menos atención a factores tradicionales de ubicación, como es la transportación, la conectividad y la capacidad de la mano de obra.

Sonora Soft es el resultado de los esfuerzos entre gobierno, instituciones educativas e iniciativa privada.⁹ Fue inaugurado en noviembre de 2007, y su misión es “generar valor, ofreciendo mente de obra y servicios de valor agregado en tecnologías de la información, impulsando el desarrollo tecnológico, económico y social”. Sus clientes potenciales serían las empresas dedicadas al desarrollo de *software* en sus distintas áreas que bien pueden ser locales, nacionales y extranjeras, a las cuales se ofrece un medio apto para operar e innovar. En la actualidad alberga a seis firmas, que generan alrededor de 370 empleos directos: Vangtel, Novutek, Sourcecorp, GoNet, Infemov y SOA Professionals.

Parque Tecnológico ITESM, campus Sonora Norte (Staadis)

A diferencia del Sonora Soft, el Staadis se ubica dentro del ITESM,¹⁰ por lo que cuenta con más factores positivos de accesibilidad y comunicación debido a su proximidad a la universidad. El Staadis se encuentra a 32 minutos del aeropuerto de Hermosillo (22.4 km), a 149 km del puerto de Guaymas y a 260 de la frontera estadounidense, con lo que reúne algunas ventajas que hacen atractiva su ubicación. El Staadis pertenece a la red de parques tecnológicos del ITESM; consta de tres plantas, de las cuales sólo están habilitadas dos, y tiene sólo dos años de operación. Su visión para 2015 es contar con el reconocimiento nacional e internacional, por su liderazgo en el crecimiento y fortalecimiento de la comunidad empresarial de la región, y por la realización de proyectos innovadores y de alto impacto en materia de emprendimiento tecnológico. La interacción aludida es medular en la estrategia apuntada, lo cual se debería conseguir a través de la vinculación entre la industria, el gobierno y las universidades nacionales y extranjeras.¹¹ El Staadis aloja en la actualidad a

⁸ Para efectos de esta investigación se consideró también analizar tres parques industriales (Labor, en Hermosillo, y San Carlos y Nuevo Nogales, en Nogales, Sonora), debido a que se intuyó que estas instalaciones podrían haber evolucionado de sus rutinas tradicionales a prácticas organizacionales ligadas a la nueva fase del desarrollo basado en el conocimiento, donde los PI, como se sabe, forman parte esencial de esa estrategia. Los resultados, como se verá, no fueron alentadores.

⁹ El gobierno del estado participó con 53 por ciento, el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), con 42 y TI Sonora con 5.

¹⁰ Un aspecto que vale la pena destacar es que los parques del ITESM se clasifican en modelos I, II, III y IV, en función del tipo de actividades realizadas. El de Hermosillo es de tipo III, ello debido a que su propósito es generar un ambiente en donde empresas de base tecnológica interactúen fortaleciendo el desarrollo tecnológico conjunto, lo cual se logra mediante la transferencia de tecnología, innovación, investigación aplicada, incubación y aceleración de empresas.

¹¹ Ellos se denominan como un espacio donde se crea, desarrolla y trasmite el conocimiento, se facilita la vinculación de la universidad con las empresas y se favorece la integración de los estudiantes y egresados al medio laboral y empresarial. También se promueve el desarrollo regional, a través de la atracción, creación y aceleración de empresas de base tecnológica; la capacitación y entrenamiento especializados y de alto valor agregado y el intercambio de información estratégica para el desarrollo de uno económico basado en el conocimiento. Entre los servicios que se ofrecen destacan: espacio de oficina confortable; interacción académica; *networking*; proyectos conjuntos con áreas técnica y administrativa, así como también con estudiantes y profesores.

Pradmen, Tauvex Innovative Engineering, Construplan, CDI División Industrial, TIS y Consulting Group. De igual modo cuenta con tres centros de capacitación: el de Manufactura Esbelta, el de Energías Renovables y el de Diseño y Maquinado de Alta Precisión.

Parque Tecnológico Hermosillo

El PT Hermosillo está a 12 km del aeropuerto de esta ciudad y a 135 de Guaymas y 270 de Nogales. Sus antecedentes se remontan a 1998, pero fue hasta 2006-2007 cuando un *call center* se instaló en él. Hoy en día consta de dos edificios que albergan al *call center* Vangtel, Gorila Nation (dedicado al diseño de aplicaciones para *gadget*), Qualisys (desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación) y a dependencias gubernamentales como la Secretaría de Hacienda estatal y una compañía de seguridad privada.

Un ambicioso proyecto de gobierno pretende convertir este espacio en una zona comercial, cultural y de negocios, donde figurará como icono de la nueva imagen de esa parte de la ciudad. A pesar de su denominación como PT, y si se dejan de lado las instalaciones físicas del edificio, éste dista mucho de cubrir los requisitos mínimos planteados por la literatura especializada.

Parque industrial Labor (Hermosillo)

El PI Labor está ubicado al poniente de Hermosillo; una primera evaluación indica que su funcionamiento y lógica operativa responden más a factores propios de la infraestructura industrial, que aprovechaban las economías de proximidad y la abundancia de fuerza de trabajo para ensamblar insumos electrónicos en sus fases intensivas de mano de obra. Desde 1989 este parque se ha convertido en el hogar de operaciones importantes del norte de México. Está conformado por siete edificios (3 500 m² cada uno); algunos se hicieron según especificaciones de sus clientes, con la modalidad “construcción a la medida”. Ofrece servicios de consultoría eléctrica, hidráulica, vigilancia, jardinería y plomería. La administración busca satisfacer por completo las necesidades de sus clientes, así como ofrecer soluciones más eficientes a sus requerimientos. Ahí están instaladas las compañías APA, ATS, Cactex, Corrugados, ACS, Rieter, Multipack y Jumbolon que, en conjunto, generan 1 760 empleos.

Parque Industrial Nuevo Nogales

Este parque inició operaciones en 1998 en la frontera Nogales, Sonora; es de inversión privada y hoy alberga a 21 establecimientos. Una de sus características es que no administra todos los lotes; 12 pertenecen a firmas establecidas, otros seis son manejados por otro desarrollador; esto implica que los administradores sólo gestionan tres de los espacios. En sus instalaciones operan negocios de servicios como hotelería (Hotel Fiesta Inn Nogales), otros bancarios (Banco Nacional de México), hay educativos (kínder y primaria particular) y comerciales (Plaza Comercial Puerta del Sur), así como uno de transporte y otro de cocina industrial que atiende a maquiladoras.

Parque Industrial San Carlos

También este parque se localiza en Nogales; comenzó operaciones en 1993, y hospeda en la actualidad a Alcatel Lucent, Alcatel III Barton Nelson, Bimbo, NCR, MTD y Avent III y IV.

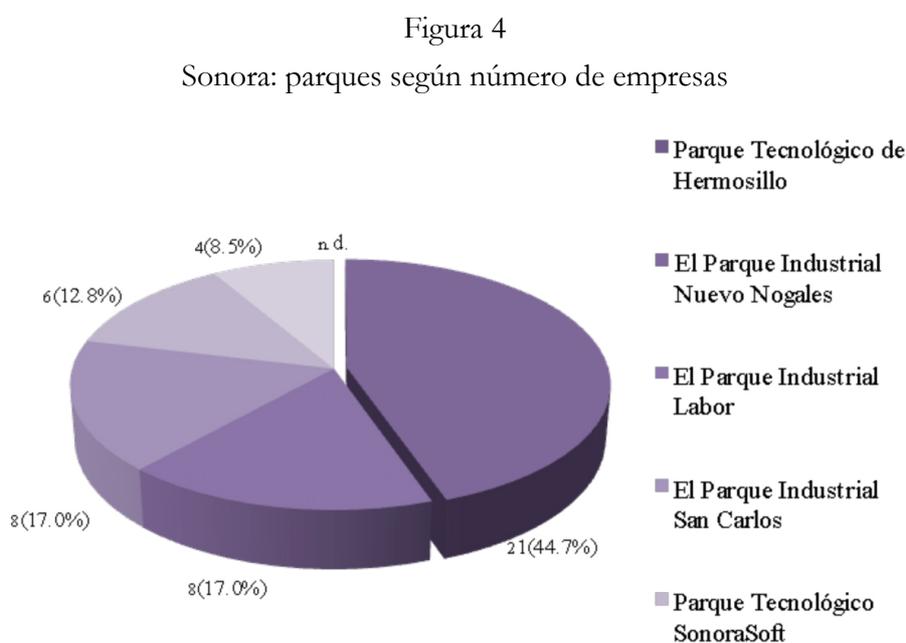
Funcionamiento de los parques de la muestra

A fin de determinar el *modus operandi* de los seis parques referidos, se aplicó una entrevista semiestructurada a gerentes o directores. Los resultados dan cuenta, en forma exploratoria, de su funcionamiento, el cual, como se verá más adelante, se aleja de los patrones sugeridos por la literatura. La información recopilada permitió también derivar algunas de las interacciones que surgen entre los actores que conforman un sistema de innovación anclado, en este caso, en un microambiente como el que se constituye dentro de los PT.

Número de empresas

No hay referencias en torno a la cantidad mínima y máxima de empresas que debe albergar un PT. Sin embargo, la literatura enfatiza que deben ser espacios para el establecimiento y crecimiento de firmas basadas en la tecnología. En ese sentido, no hay inconveniente para considerar que cada uno de los señalados, incluidos los industriales, tendría cabida en esta clasificación, debido a las actividades que realizan.

De los analizados, el Parque Industrial Labor es el que alberga más empresas, no obstante que el Sonora Soft hospeda a más establecimientos de los identificados tradicionalmente con la naturaleza de un PT (véase [figura 4](#)).



Fuente: elaboración propia, con base en la entrevista sobre los PT en la conformación de una economía basada en el conocimiento: el caso de los PT en Sonora.

Interacción entre gobierno, academia y empresa

Otra cuestión abordada en la entrevista fue en qué medida existe colaboración entre gobierno, academia y empresa. Algunos de los hallazgos y mecanismos de esta relación se describen en la [figura 5](#). Es posible derivar que los PT utilizan los mecanismos de colaboración entre la triple hélice; el de Hermosillo emplea sólo

algunos de ellos, lo que puede considerarse preocupante, debido a la relevancia de que los PT cuenten con una vinculación academia-empresa y, en consecuencia con fondos para I&D. El Parque Industrial Labor también registra actividades de vinculación, no obstante, durante la entrevista al mencionar si existe colaboración entre gobierno, academia y empresa, la respuesta fue negativa en primer momento.

Figura 5
Colaboración entre gobierno, academia y empresa

Mecanismos	Parques tecnológicos			Parques industriales		
	Sonora Soft	ITESM Sonora Norte	Hermosillo	Labor	Nuevo Nogales	San Carlos
Prácticas profesionales	✓	✓	✓	✓		
Fondos (I+D)	✓	✓				
Estímulos	✓	✓	✓	✓		
Proyectos conjuntos	✓	✓	✓			
Becas para estudiantiles	✓	✓	✓			
Bolsa de trabajo	✓	✓	✓	✓		
Asociaciones	✓	✓		✓		

Fuente: elaboración propia, con base en la entrevista sobre los PT en la conformación de una economía basada en el conocimiento: el caso de los PT en Sonora.

Interacción con centros de investigación

En relación con los centros de investigación, universidades o institutos tecnológicos, la cual es otra condición para contar con la definición de parque tecnológico, se encontró información contrastante. El Staadis cuenta con los cuatro elementos que dan evidencia de esta relación. El Sonora Soft no tiene intercambio especializado entre las capacidades de I&D, por tanto carece de vínculos adecuados de colaboración y vinculación para generar ambientes innovadores. Pareciera que sólo se mantiene el rol de administrador de servicios –como la gestión del *software* para control de acceso–. Este es un aspecto negativo del PT Hermosillo, aun cuando presente intercambio de capacidades de I&D. Es preocupante que dentro de los parques industriales no se realice ninguno de los puntos mencionados.

Existe la propuesta de creación de un laboratorio para el desarrollo de aplicaciones móviles, promovido por Sonora Soft, entre las actividades de promoción de una cultura de innovación y competitividad. De cristalizarse este proyecto, Sonora Soft agregaría a sus servicios la incubación de empresas, lo que le daría una figura nueva. Otros programas destacables son el de *internship* o estancias profesionales, asociados a la transferencia de conocimientos hacia el exterior. Staadis es el que posee mayor experiencia en esta tarea, pues cuenta con tres centros de capacitación especializados disponibles para el público en general.

Figura 6
Relación con centros de investigación, universidades
o institutos tecnológicos

Mecanismos	Parques tecnológicos			Parques industriales		
	Sonora Soft	ITESM Sonora Norte	Hermosillo	Labor	Nuevo Nogales	San Carlos
Prácticas de innovación	✓	✓				
Convenios interinstitucionales	✓	✓				
Intercambio especializado entre las capacidades de I&D		✓	✓			
<i>Spin-offs</i> universitarios	✓	✓				

Fuente: elaboración propia, con base en la entrevista sobre los PT en la conformación de una economía basada en el conocimiento: el caso de los PT en Sonora.

Servicios proporcionados por los PT

Una tarea clave es enlistar los servicios brindados a las firmas que integran el parque, pues ello permitiría distinguir entre un PT y uno industrial; Labor es un ejemplo evidente, porque suministra todos los servicios de la lista incluida en la figura 5; este resultado supondría por sí mismo un proceso tentativo de reconversión de su modalidad. Sin embargo, la observación y la entrevista permitieron deducir que cuenta con un socio *shelter*, que ofrece dichos servicios o asesora en la solución de necesidades de las compañías albergadas, excepto la incubación de empresas. El Parque Tecnológico ITESM, campus Sonora Norte, modelo III, proporciona todos los servicios, ello es posible debido a su tipo de operación.

El Sonora Soft cuenta con la incubación de empresas, una de las características de un PT. No obstante, es posible evidenciar algunas debilidades como no brindar capacitación administrativa y consultoría ni fungir como intermediario financiero. La impartición de clases de inglés con lenguaje técnico, que ofrece uno de los establecimientos al resto, es buena señal para tratar de generar ese entorno innovador que se busca, pero no es suficiente. El PT Hermosillo carece de servicios de incubación, no tiene centros de capacitación profesional, ni figura como intermediario financiero.

Tipo de tecnología de las empresas registradas

Hospedar firmas de alta tecnología no es una característica de los PT, sin embargo en Sonora los parques industriales tienden a albergar más a las de tecnología básica; ejemplo de ello es el de Labor, en el cual 75 por ciento es de tecnología básica, 12.5 de intermedia y 12.5 de alta.

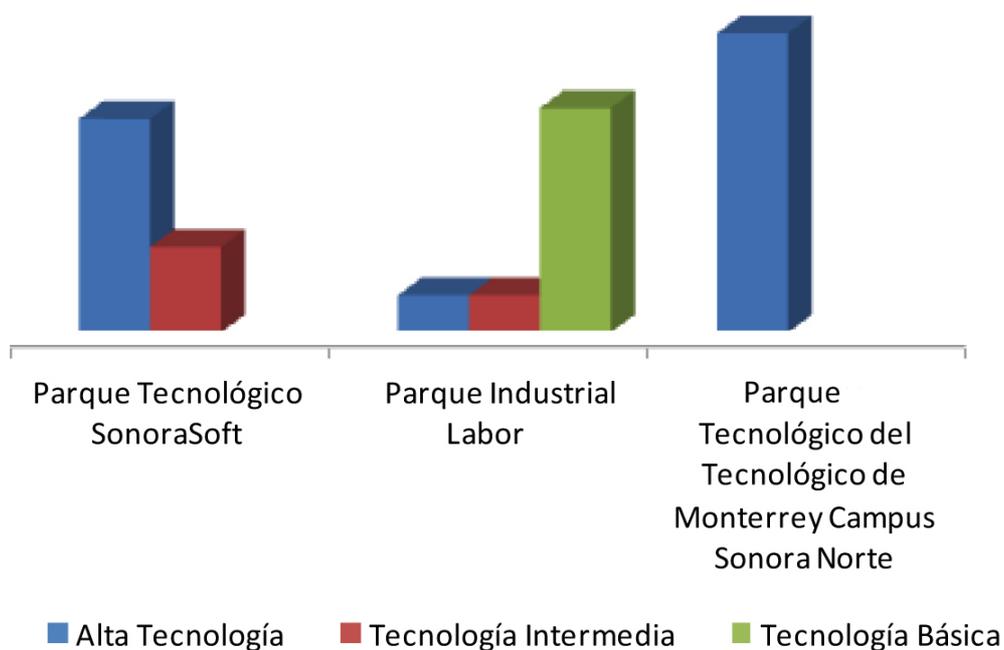
Esta proporción cambia drásticamente en las instalaciones de Sonora Soft, ya que la alta tecnología representa 71 por ciento y 29 la intermedia, y no hay cabida para la básica. En la misma sintonía se encuentra el Staadis, donde cien por ciento es de alta tecnología.

Figura 7
Servicios proporcionados a las empresas

Mecanismos	Parques tecnológicos			Parques industriales		
	Sonora Soft	ITESM Sonora Norte	Hermosillo	Labor	Nuevo Nogales	San Carlos
Incubación de empresas		✓				
Servicios de asesoría tecnológica	✓	✓	✓	✓		
Asistencia técnica	✓	✓	✓	✓		
Centros de capacitación profesional	✓	✓		✓		
Consultoría		✓	✓	✓		
Capacitación administrativa		✓	✓	✓		
Intermediarios financieros		✓		✓		

Fuente: elaboración propia, con base en la entrevista sobre los PT en la conformación de una economía basada en el conocimiento: el caso de los PT en Sonora.

Figura 8
Parque tecnológico e industrial por tipo de tecnología



Fuente: elaboración propia, con base en la entrevista sobre los PT en la conformación de una economía basada en el conocimiento: el caso de los PT en Sonora.

La percepción en torno a los PT

Una cuestión interesante derivada de las entrevistas es la idea que se tiene acerca de las condiciones y características que distinguen a un parque empresarial, comercial o industrial de uno tecnológico. En el PI Labor se tiene clara la diferencia y la definición, y se advierte que un PT depende menos de la mano de obra y más de procesos de automatización; se enfoca al desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías. Mientras que, en el caso de un parque industrial se dedica más a la manufactura, volumen o procesos.

Algunos comentarios muestran lo difícil de reconfigurar un parque industrial a uno tecnológico, debido a su vocación inicial. Se señala que las empresas se ubican para procesos productivos, y básicamente para generar ganancias monetarias. Un punto que se menciona es que la función productiva no está en el PT; la finalidad de los industriales no es la especialización y tampoco están enfocados a la creación de empresas, no se desarrollan, no esperan vincularse y es difícil integrarlos. Algunas opiniones opuestas a la posible reconversión de parques industriales a tecnológicos se sustentan en el enfoque o giro de las empresas instaladas, así como el propósito del parque, haciendo énfasis en el aspecto regional. Esto también se relaciona con el tipo de infraestructura con la que se cuenta (alta tecnología o tradicional), así como la vinculación con las instituciones educativas y gubernamentales; una percepción bastante estricta.

UNA INTERPRETACIÓN DE LOS HALLAZGOS

Con los resultados arrojados por el trabajo de campo se intentará responder a las preguntas de investigación que han guiado este estudio. Para cada parque considerado se tratará de determinar si su operación se ajusta o es pertinente para la construcción de una economía basada en la innovación y el conocimiento. De la interpretación de los resultados y de la observación de la muestra, en lo que respecta al número de empresas, en la [figura 4](#) aparecen los porcentajes de participación de cada parque. El universo es la suma de ellas declaradas por el informante; los porcentajes no dan señal de una presencia fuerte o débil de actividades innovadoras, sólo es un dato que complementa la información, por ejemplo una vez que se cuente con el tipo de tecnología utilizada.

En cuanto a la interacción entre el gobierno, academia y empresa resaltan los porcentajes de integración de los PT Sonora Soft y Staadis, pues cubren todos los rubros. La vinculación con la academia es una de las fortalezas del Staadis: los profesores son al mismo tiempo empresarios e involucran a sus alumnos en sus proyectos mediante prácticas profesionales, estancias y becas, y así fomentan una transferencia constante de conocimientos. Por lo que respecta a los de Hermosillo y Labor, un análisis más detallado permite observar que su principal debilidad es la falta de fondos en I&D, un requisito básico y necesario cuando se trata de proyectos de innovación y tecnología.

Con respecto a la relación con centros de investigación, sólo el Parque Tecnológico ITESM cubre con todos los puntos que comprenden esta sección. Está vinculado a 19 proyectos que participaron en la convocatoria 2011 de estímulos a la innovación, en las categorías Innovatec e Innovapyme, además se aprobaron siete en los giros de plásticos, energías renovables, industria médica, desarrollo de *software*, soldadura y luminarias.

El Sonora Soft evidencia su rezago en el intercambio especializado entre las capacidades de I&D. La falta de difusión de conocimientos de las empresas que lo integran limita la existencia de economías de proximidad, aun cuando la conexión con universidades tecnológicas crea el mercado de trabajadores calificados en áreas afines. Sin embargo, hay pruebas de generación de *spin-offs*, materializadas en la empresa Novutek.¹²

¹² Novutek está instalada en Sonora Soft; provee productos de *software* de clase mundial y estándares internacionales, que generan valor a sus clientes; mediante el uso de procesos industriales, eficientes y certificados, que aseguran la calidad, y proporcionan utilidades a los accionistas; además, brindan asesoría integral y servicios de valor agregado en materia de TI.

Figura 9
Resumen de los hallazgos

Mecanismos	Parques tecnológicos			Parques industriales		
	Sonora Soft	ITESM Sonora Norte	Hermosillo	Labor	Nuevo Nogales	San Carlos
Número de empresas	12.8	8.5		17.0	44.7	17.0
Interacción gobierno-academia-empresa	100.0	100.0	57.1	57.1		
Relación con centros de investigación	75.0	100.0	25.0	0.0		
Servicios proporcionados por las empresas	42.9	100.0	57.1	85.7		
Alta tecnología	71.4	100.0		12.5		

Fuente: elaboración propia.

Hay que tener presente que el objetivo de estas infraestructuras es prestar servicios a sus clientes. En relación con los servicios proporcionados por las empresas, se señala que el Labor ofrece muchos (86 por ciento), por lo que se podría inferir que tiene los rasgos básicos de un PT. Sin embargo, ello no es propiamente una señal de reconversión a un modelo tecnológico; sólo es el reflejo de la estrategia de venta del administrador, que subroga muchos de los servicios para proporcionar al cliente beneficios que lo distinguen de otros PI.

A pesar de contar con empresas de *spin-off*, la administración de Sonora Soft no ha podido mantener las interacciones entre centros de investigación, universidades y empresas, pues en un principio se contaba con incubación de éstas y en la actualidad no se dispone de este servicio (gestionado por el ITSON). Además, el cambio de administración estatal generó desestabilidad en su gestión, y quedó relegado de la agenda oficial. Vale la pena mencionar que la segunda etapa se encuentra en obra negra; y a futuro podrá constituirse un PT.

En la sección tipo de tecnología, el parque Labor muestra poca relación con la tecnología, ya que sus empresas instaladas representan sólo 12.5 por ciento en alta tecnología y de intermedia y 75 en la básica. El PT Hermosillo, aunque cuenta con firmas de base tecnológica, éstas se abocan más a actividades tipo *shelter*. Además, hay algunas con un giro de servicios de seguridad y oficinas gubernamentales, las cuales no cumplen con los requisitos que deben tener las firmas que se instalan en un PT. En Sonora Soft, el mayor porcentaje está representado por empresas de alta tecnología, y ni hablar del Staadis, que cien por ciento de su planta tiene esta característica.

CONCLUSIONES

A manera de conclusión, y al tomar en cuenta los mecanismos de los parques contenidos en la muestra, se generan tres reflexiones:

- Hay evidencia de que en los parques tecnológicos Sonora Soft e ITESM se está gestionando un entorno propicio para la innovación, sin embargo, estos ambientes están en una fase incipiente, y poseen rasgos muy particulares.
- El PT Hermosillo es un caso muy peculiar, rompe la armonía de los demás, aun cuando las instalaciones físicas son de calidad, no se observan gestiones de promoción hacia una cultura innovadora. Las empresas instaladas son más de tipo *shelter* y *outsourcing*, donde es difícil que se produzcan las de generación centrífuga, al no encontrarse mecanismos de incubación.
- Al analizar los parques industriales Labor, Nuevo Nogales y San Carlos, no se vislumbra un cambio en sus actividades, que pueda involucrar una reconversión al modelo de PT.

Ante los resultados de las entrevistas, se concluye que el objetivo de generar conocimiento innovador (producto de la vinculación e interacción), mediante los parques tecnológicos o los relacionados con microsistemas de innovación, son insuficientes debido al poco apoyo de una política de Estado que permita, mediante la influencia de sus instituciones de educación superior, cumplir con las metas y objetivos para los que fueron creados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aydalot, P., y D. Keeble, D. 1988. *High Technology Industry and Innovative Environments: The European Experience*. Londres/Nueva York: Routledge.
- Bracamonte Sierra, Alvaro. 2011. *Economía basada en el conocimiento. Indicadores municipales para el estado de Sonora*. Hermosillo: COLSON y Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT).
- _____. y Oscar F. Contreras. 2011. *Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo económico*. Hermosillo: COLSON y COECYT.
- _____. 2008. Redes globales de producción y proveedores locales: los empresarios sonorenses frente a la expansión de la industria automotriz. *Estudios Fronterizos* 9 (18): 161-194.
- Contreras, Oscar y Alvaro Bracamonte. 2012. Capacidades de manufactura global en regiones emergentes. La industria aeroespacial en Sonora. En *Desarrollo de la industria aeroespacial en México y Canadá: una perspectiva para el fortalecimiento de agrupamientos regionales*, coordinado por Mónica Casalet. México: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Cortés, J. 2004. Ingeniería: un enfoque sistémico a la innovación científica y tecnológica (primer borrador). Xalapa: Fundación para la Educación Superior Internacional, A.C.
- De María y Campos, Mauricio. *Necesidad de una nueva política industrial para el México del siglo XXI*. México: Centro Lindavista.

- Flores Varela, R., M. Vázquez Ruiz. 2010. El Sistema Regional de Innovación en Sonora: un primer acercamiento a la interacción de sus componentes. Ponencia presentada en el Foro Internacional de Tecnología e Innovación.
- Freeman, C. 1995. The National System of Innovation in Historical Perspective. *Cambridge Journal of Economics* 19 (1): 1-19.
- Fundación Este País. 2009. *Indicadores*. Noviembre.
- Galicia Bretón Mora, Fabiola, Isaac Leobardo Sánchez Juárez. 2011. La industria automotriz y el fomento a las cadenas productivas en Sonora: el caso de la Ford en Hermosillo. *Economía, Sociedad y Territorio* XI (35).
- Heijs, Joost. 2001. Sistemas nacionales y regionales de innovación y política tecnológica: una aproximación teórica. Documento de trabajo, octubre. Madrid: Instituto de Análisis Industrial y Financiero (IAIF), Universidad Complutense de Madrid.
- Helmsing, A. 1999. Teorías de desarrollo industrial regional y políticas de segunda y tercera generación. *EURE* 25 (75): 5-39. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025071611999007500001&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0250-7161>
- Hodgson, G. M. 1994. Optimisation and Evolution: Winter's Critique of Friedman Revisited. *Cambridge Journal of Economics* 18 (4): 413-430.
- Ibarra, Jesús. 2012. Aprendizaje tecnológico y capacidad de absorción: el caso de pymes locales desarrolladoras de *software* en Sonora. 2004-2012. Avances de la tesis doctoral en ciencias sociales, COLSON.
- Jiménez L., Gerardo, F. José Teba. 2007. Parques científico-tecnológicos y su importancia en los sistemas regionales de innovación. *Economía Industrial* 363: 187-198.
- Kuri, G. Armando. 2006. Innovación tecnológica y sistemas productivos locales. *Economía UNAM* 3 (007).
- Lara E., Blanca y Oralia Osuna. 2009. Alcances y limitaciones de la política industrial. En *Sonora. Retos de la nueva agenda*. Hermosillo: COLSON.
- Lundvall, Bengt-Åke. 2007. National Innovation Systems Analytical Concept and Development Tool. *Industry & Innovation, Taylor and Francis Journals* 14 (1): 95-119.
- _____ (editor). 1992. *National Systems of Innovation - Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Londres y Nueva York: Pinter.

- _____, Björn Johnson, Esben Sloth Andersen y Bent Dalum. 2002. National Systems of Production, Innovation and Competence Building. *Elsevier Science B.V.*
- Navarro, M. 2002. El marco conceptual de los Sistemas de Innovación Nacionales y Regionales. *Monografía 4*: 87-102.
- _____. 2001. Los sistemas nacionales de innovación: una revisión de la literatura. Documento de trabajo 26, octubre. Madrid : IAI, Universidad Complutense de Madrid.
- OCDE. 2009. *Estudios de la OCDE de innovación regional: 15 estados mexicanos*. OCDE.
- Ondátegui, J. 2001. *Los parques científicos y tecnológicos en España: retos y oportunidades*. Madrid: Consejería de Educación, Comunidad de Madrid.
- _____. 2000. *Evolución y situación actual de los parques científicos y tecnológicos en España*. Madrid: Cotec.
- _____. 1997. Nuevos espacios productivos: tecnología, industria y servicios en la región de Madrid. *Ciudad y Territorio* 112: 357-378.
- Perrin, J. C. 1988. A Desconcentrated Technology Policy, Lessons from the Sophia Antipolis Experience. *Environment and Planning C, Government and Policy* 6 (4): 414 -426.
- Porter, M. E. 1990. *The Competitive Advantage of Nations*. Nueva York: Free Press.
- Ramírez Piñera, David. 1994. *Visión histórica de la frontera norte de México*. Centro de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma de Baja California.
- Rubiralta, M. 2005. El papel de los parques científicos en la incubación de empresas de base tecnológica. *Parc Científic de Barcelona*.
- Sandoval, S., y Pablo Wong. Especialización regional, integración de proveedores e impactos locales. El nuevo proyecto de expansión de Ford-Hermosillo *región y sociedad* XVII (33). 3-32.
- Sanz, L. 2004. Fundamentals of Science Parks: Toos for Regional Development: www.iasp.ws. (22 de marzo de 2011).
- Sharif, Naubahar. 2006. Emergence and Development of the National Innovation Systems Concept. *Research Policy*: 745–766
- Stöhr. W. 1988. Regional Policy, Technology Complexes and Research/Science Parks. En *Informatics and Regional Development*, editado por Maria Giaoutzi y Peter Nijkamp. Aldershot: Gower.

Vázquez Ruiz, Miguel Ángel y María del Carmen Moreno Hernández. 2008. Industrialización sonoreense, itinerario de un proyecto inconcluso. *Estudios Sociales* 16 (41): 205-235

Wong González, Pablo. 1998. Globalization and International Integration: New Strategies of Transborder Regional Development. *Regional Development Dialogue* 19 (2): 222-235.

ANEXO 1

LOS PARQUES TECNOLÓGICOS EN LA CONFORMACIÓN DE UNA ECONOMÍA BASADA EN EL CONOCIMIENTO: EL CASO DE LOS PARQUES TECNOLÓGICOS EN SONORA

Fecha					
	Día	Mes	Año		

Número de cuestionario		
------------------------	--	--

I. Datos generales

1. Nombre del parque o denominación

2. Dirección del parque o denominación

3. Municipio

Localidad

4. Código postal

5. Teléfono

Correo electrónico

6. Página electrónica

7. Nombre del promotor o representante

8. Empresas hospedadas en el parque por número de empleados, actividad principal e inicio de operaciones

Empresa	Número de empleados	Actividad principal	Año de inicio

II. Caracterización del parque tecnológico

1. ¿Existe colaboración entre gobierno, academia y empresa? Sí _____ No _____

Mencione los mecanismos de relación dentro del parque

Mecanismos	Actores involucrados		
	E	G	ES
Prácticas profesionales			
Fondos para investigación y desarrollo			
Estímulos			
Proyectos conjuntos			
Becas para estudiantiles			
Bolsa de trabajo			
Asociaciones			
Otras, especifique			

2. Relación con centros de investigación, universidades o institutos tecnológicos

	Sí	No
Proyectos de innovación		
Convenios interinstitucionales		
Intercambio especializado entre las capacidades de investigación y desarrollo		
<i>Spin-offs</i> universitarios		
Otras, especifique		

3. ¿Qué instituciones y empresas participaron en la creación del parque?

Nombre de la organización	Fecha	Inversión

4. ¿Realiza actividades con el fin de promover una cultura de innovación y competitividad de las empresas que integran el parque?

Sí _____ No _____ ¿Cuáles? _____

Tipo de actividad	Sí	Empresas participantes
Concursos de creatividad		
Transferencia de conocimientos a miembros de la empresa		
Compartir conocimientos al exterior de la empresa (sistemas)		
Asistencia y colaboración en ferias, eventos y exposiciones sobre innovación		
Incentivos al desarrollo de patentes		
Otras, especifique		

5a. De la siguiente lista, ¿cuáles son los servicios que proporciona a las empresas que integran el parque?

Servicios	Sí	No
Incubación de empresas		
Servicios de asesoría tecnológica		
Asistencia técnica		
Centros de capacitación profesional		
Consultoría		
Capacitación administrativa		
Intermediarios financieros		

Si la respuesta es positiva pase a la pregunta 5b.

5b. ¿En qué consisten los servicios que ofrece?

Servicios	¿En qué consisten?
Incubación de empresas	
Servicios de asesoría tecnológica	
Asistencia técnica	
Centros de capacitación profesional	
Consultoría	
Capacitación administrativa	
Intermediarios financieros	

6. ¿Qué condiciones considera distinguen a un parque empresarial, comercial o industrial de un parque tecnológico?

III. Actividades innovadoras

7. Dentro del parque, ¿existen empresas enfocadas hacia las siguientes actividades?

Actividades	Número de empresas
Investigación	
Desarrollo	
Generación de <i>spin-offs</i>	
Innovación	
Investigación + desarrollo	

Mencione algunas de las empresas

Nombre de las empresas

8. Describa alguna innovación realizada por empresas del parque

9. Del total de empresas en el parque, ¿cuántas son?

Tipo de tecnología	Número
Alta tecnología	
Tecnología intermedia	
Tecnología básica	

10. ¿Existe disponibilidad para la posible ampliación de una empresa?

Sí _____ No _____ Capacidad _____

IV. Observaciones generales

Tipos de tecnología

Básica: los negocios tradicionales ofertan servicios o productos en sectores tradicionales, cuyos requerimientos de infraestructura física y tecnológica, así como sus mecanismos de operación son básicos. Por ejemplo: restaurantes, papelerías, lavanderías, distribuidoras, comercializadoras, joyería, abarrotes, consultorías, etcétera.

Intermedia: las empresas con esta tecnología tienen requerimientos de infraestructura física y tecnológica, sus mecanismos de operación son semiespecializados e involucran procesos semiespecializados, es decir, incorporan elementos de innovación. Por ejemplo: desarrollo de redes simples, aplicaciones *web*, tecnología simple para el sector alimentos, telecomunicaciones y *software* semiespecializados.

Alta: una empresa de este tipo tiene una oferta de servicio o productos en sectores avanzados, tales como tecnologías de la información y comunicación, microelectrónica, sistemas microelectromecánicos (MEM), biotecnología, alimentos y farmacéutico, entre otros.

La información recabada de este cuestionario será utilizada
como parte de un proyecto de parques tecnológicos
a cargo del doctor Alvaro Bracamonte Sierra

INNOVACIÓN BIOTECNOLÓGICA: EXPERIENCIAS DE I&D UTILIZANDO RESIDUOS DE CAMARÓN

Jaime López Cervantes¹
Dalia Isabel Sánchez Machado

INTRODUCCIÓN

De las especies del mar, el camarón, principalmente del género *Penaeus*, es uno de los crustáceos comestibles más importantes en el sur de Sonora, México.² Sin embargo, se estima que sólo la mitad de su masa corporal se aprovecha en la ingesta humana, y el resto, como el cefalotórax y exoesqueleto, se trasladan en calidad de desecho a los vertederos cercanos originando un problema ambiental preocupante y complejo; no obstante, dichos residuos son la fuente principal de un biopolímero natural conocido como quitina, así como una reserva de pigmentos carotenoides y de proteínas.³

La técnica más común para el procesamiento de los residuos de camarón es el secado artesanal solar pero, debido a su escasa calidad higiénica, sus productos sólo se utilizan para consumo animal. Para la extracción de la quitina y la recuperación de los hidrolizados de proteínas existen otros métodos que emplean ácidos y álcalis en concentraciones, temperaturas y tiempos de procesamiento diferentes. Además, se ha reportado el uso de enzimas microbianas para la extracción de proteínas de diversos residuos de crustáceos. Sin embargo, la fermentación láctica de los residuos de camarón se ha propuesto como un metodología económica y ecológica, puesto que facilita la separación de sus bioproductos: la quitina, proteínas, lípidos y minerales, y también para caracterizarlos bioquímicamente (López Cervantes et al. 2006a). Estas investigaciones han permitido optimizar dicho método y, más importante aún, fomentar su aplicación en la industria alimentaria y al mismo tiempo abonar a la conservación del medio ambiente.

¹ Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias. Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 sur, Ciudad Obregón, Sonora, México, C.P. 85000. Correo electrónico: jaime.lopez@itson.edu.mx. Esta investigación fue financiada por el proyecto SON-2009-C01-111783 del Gobierno del Estado de Sonora-Fondos Mixtos y por Agrinos A. S. Bio Tech Company.

² Sonora es parte de la región pesquera más productiva del país (Pacífico norte), aporta 49.5 por ciento de la pesca nacional. Pese a que las actividades pesqueras y acuícolas representan sólo 1.7 por ciento del producto interno bruto del estado, son una fuente importante de empleo e ingresos para muchas localidades, en especial para las del sur (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Hidráulicos, Pesca y Acuicultura, OEIDRUS-SAGARHPA 2009). Para mayor conocimiento sobre este sector en Sonora, se puede consultar: Bracamonte y Méndez (2012), Bracamonte (2011), OEIDRUS-SAGARHPA (2006 y 2009) y Palafox y Pérez (2003), entre otros.

³ Los usos de estos bioproductos dependen de sus propiedades químicas; por ejemplo, la quitina y el quitosano (su derivado desacetilado) tienen aplicación en la agricultura, la biomedicina, la alimentación y la industria del papel. Mientras que el hidrolizado líquido es una fuente excelente de aminoácidos esenciales, que puede utilizarse para el consumo humano o animal. La pasta lipídica contiene esteroides, vitaminas A y E; los pigmentos carotenoides, como la astaxantina, constituyen un suplemento alimenticio interesante para salmónidos o un colorante natural en la industria alimentaria.

Además, los resultados obtenidos en dichos estudios son susceptibles de patentarse y, por tanto, de generar ingresos adicionales.

A diferencia de otros sectores productivos, la biotecnología está basada en recursos naturales renovables por lo que tiene aplicaciones en la agricultura, ganadería e industrias con procesos biológicos. Sin embargo, pese a que beneficia a múltiples actividades es notorio el rezago en materia de investigación científica y, por ende, en el fortalecimiento del proceso de innovación biotecnológica. Con ello, es posible que ramas productivas basadas en la explotación de recursos naturales desarrollen productos con alto valor agregado para la industria farmacéutica, alimentaria y ambiental.

En el sistema o *cluster* productivo de la biotecnología están presentes las universidades, los investigadores y empresarios innovadores, productoras de insumos, grandes corporativos fabricantes de agroquímicos o compañías farmacéuticas y el sector público o gobierno.

En este capítulo se muestran los pasos para la creación de una empresa de tipo biotecnológico; se enfatiza el proceso de derivación de varios subproductos de los residuos de camarón. Los resultados comprueban que, a partir de la vinculación de los académicos e investigadores con el sector empresarial es posible obtener innovaciones en productos y procesos, coadyuvar al desarrollo económico regional, así como contribuir a la protección del medio ambiente.

El capítulo se compone de cinco partes; en la primera se aborda la definición o antecedentes sobre la innovación biotecnológica, que se erige como el eje conceptual que explica la evolución emergente de la biotecnología. En la segunda se describe el proceso mediante el cual se aprovechan los residuos de camarón, para obtener quitina, hidrolizados proteicos y astaxantina, subproductos biotecnológicos utilizables en la agricultura (por ejemplo en la ecología de suelos). En la tercera se incluyen los hallazgos obtenidos del proceso de innovación biotecnológica a partir de residuos de camarón; la cuarta y quinta corresponden al empleo de los resultados en productos potenciales o subproductos de uso industrial, así como la estrategia de mercado seguida para su aprovechamiento comercial. Se finaliza con una relación breve de conclusiones y de trabajos referidos.

INNOVACIÓN BIOTECNOLÓGICA: ANTECEDENTES

Desde sus orígenes, los seres humanos han practicado la investigación biotecnológica;⁴ sin embargo, en la actualidad el desarrollo de la biotecnología es sorprendente gracias a los avances de la biología, microbiología e ingeniería genética. Esto hace una diferencia significativa respecto a la considerada como tradicional.⁵ La “biotecnología moderna” provee herramientas nuevas para mejorar la calidad y la seguridad en la salud, la agricultura y la industria alimentaria; asimismo, es factible que con sus descubrimientos se generen productos o servicios,⁶ y además contribuye a la protección del medio ambiente y la sustentabilidad.⁷

⁴ La aplicación tecnológica y los avances en el campo de las ciencias le han dado nueva vigencia al término biotecnología, una técnica que integra el uso de tecnologías y el potencial de los seres vivos, para obtener bienes y servicios.

⁵ Algunos de los alimentos más tradicionales como el pan, el vino, la cerveza y el queso en su momento fueron producciones biotecnológicas.

⁶ Los avances en materia de biología, obtenidos a partir de la segunda mitad del siglo XX, van desde la ingeniería genética -modificación del material hereditario-, la conexión entre biología e informática -bioinformática-, hasta la evolución de las tecnologías de reproducción y de los cultivos celulares para generar animales modificados genéticamente (Díaz et al. s/f).

⁷ Algunas de las aplicaciones en otras áreas son en el fitomejoramiento, el uso y manejo de recursos genéticos, el desarrollo de productos vinculados a la sanidad vegetal, la producción y la sanidad animal, así como la mejora de la elaboración de alimentos, entre otras. Estas aplicaciones han experimentado una demanda creciente en este tipo de tecnologías en los últimos años (Trigo et al. 2002, citado por Vega Jurado et al. 2009).

La biotecnología tiene potencial para solucionar problemas específicos no resueltos por métodos convencionales; la investigación en la materia se distingue porque su funcionamiento requiere la interacción de las empresas, la comunidad científica y el sector público, lo que ayuda a resolver la fragmentación y aislamiento que predomina en el sistema productivo mexicano. Además de atender dichas limitaciones, estas alianzas potencian la productividad-competitividad y en consecuencia el crecimiento económico, lo que a largo plazo contribuye a disminuir los índices de pobreza. Asimismo, es sabido que los países con sistemas de investigación e innovación más avanzados tienden a tener más alianzas estratégicas;⁸ pero aún existe mucha capacidad innovadora que es necesario canalizar o transferir (hay pocas aplicaciones o casos de éxito),⁹ para lo que es imperativo formular e implementar políticas que permitan resarcir el rezago imperante en este sector tan importante.¹⁰

En el caso de México, la política científica ha buscado propiciar espacios colaborativos en áreas de investigación prioritarias para el desarrollo nacional. Se ha señalado la necesidad de “identificar temas estratégicos para lograr mayor igualdad, mejorar el cuidado de la salud, sustentabilidad ambiental y energética, fortalecer la legalidad y el estado de derecho, atención a desastres naturales y cambio climático, entre otros tópicos, todo esto salvaguardando la libertad de investigación y pensamiento”.¹¹

Una de las acciones necesarias para lograr que la ciencia y la tecnología se conviertan en un motor de la innovación es el fortalecimiento de la interacción de los agentes que integran un sistema productivo de base científica y tecnológica: instituciones de educación superior y centros de investigación, empresarios, gobiernos locales e incluso asociaciones de la sociedad civil. En ese entendido, es necesario promover canales de comunicación que agilicen la transferencia de conocimientos o tecnología. Y concertar estrategias de colaboración entre investigación-desarrollo-producción-comercialización, a mediano y largo plazo.¹²

El paso de economías tradicionales a las llamadas del “conocimiento” implica incorporar los saberes nuevos a la producción. Sólo a partir de la inclusión de estos “activos intangibles” se fortalecerán o surgirán ventajas competitivas tan indispensables en el actual contexto de incertidumbre económica mundial y de cambio tecnológico acelerado. La relevancia de la innovación para el desarrollo regional y local es que es medular para el escalamiento tecnológico, en un marco de competencia global intensa.¹³ Este es el planteamiento teórico-conceptual que le da sustento a esta propuesta.

⁸ Es necesario considerar el establecimiento de alianzas estratégicas, dirigir la transferencia de tecnología y dar un manejo sostenido al producto, para asegurar su viabilidad a largo plazo (*stewardship*) al diseñar e implementar las políticas para el sector en un futuro cercano.

⁹ Aunque en la agricultura ya se aplican muchas experiencias, el fomento real a esta actividad sólo será posible si se estimula la innovación y la transferencia de tecnologías útiles a los productores. Se requiere también resolver los factores que limitan la capacidad para evaluar la bioseguridad y la inocuidad, la propiedad intelectual y su integración en las cadenas de valor agroalimentarias, en un marco de transparencia que respete los principios de equidad y sostenibilidad (Vega Jurado et al. 2009).

¹⁰ Ello es clave en usos de tecnologías en la producción de alimentos o la salud. Ambas aplicaciones/usos son altamente controvertidos, como los cultivos genéticamente mejorados, conocidos como transgénicos.

¹¹ Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (2006). De la misma forma, en este mismo programa en el periodo 2008-2012 se propuso fortalecer la apropiación social del conocimiento, la innovación y el reconocimiento público de su carácter estratégico para el desarrollo integral del país, así como la articulación efectiva de todos los agentes involucrados para alcanzar ese fin.

¹² Esta propuesta se sustenta en la teoría de los sistemas regionales de innovación, que resalta la importancia de los factores sociales (organizacionales, institucionales, culturales) en los procesos de creación y aplicación del conocimiento, definidos como los principales de la producción en la economía informacional o posfordista, que se distanció de la concepción de la empresa autosuficiente y del análisis de las relaciones mercantiles bilaterales entre agentes (Vega Jurado et al. 2009).

¹³ Los procesos de incorporación de activos de conocimiento reflejan, además, la capacidad dinámica de aplicar y materializar el conocimiento adquirido externamente (mediante licencias, personal y equipos nuevos, alianzas, etcétera) o generado internamente (a través de la inversión en I+D, la formación del personal, la propiedad intelectual, el diseño organizativo y las tecnologías de la información, etcétera), en la obtención de productos y métodos de producción, de distribución y de comercialización nuevos. En la medida que el poder de mercado es más difícil de sostener en el tiempo, ya no es suficiente para afrontar la evolución de los mercados, que las empresas produzcan de forma eficiente un conjunto de bienes o servicios, sino que por fuerza deben innovar (Nelson 1991; Baumol 2002, citados en Vega Jurado et al. 2009).

Entonces, el ciclo investigación-desarrollo-producción-comercialización dependerá del impulso de innovaciones en proceso y producto, de prácticas organizativas nuevas, así como del mejoramiento de la capacidad de la empresa para adquirir y crear conocimientos.

En resumen, se experimenta una coyuntura donde el factor conocimiento y su aplicación comercial - la innovación- marcan la pauta a seguir para las empresas y los países, y sus economías. Por tanto, los que se mantengan al margen de los procesos de innovación están condenados a perder competitividad y a desaparecer, en el peor de los escenarios. Esta es la lógica de las economías de mercado, circunstancia que ha sido el combustible que explica su evolución histórica. Con esto en mente, es crucial el impulso a las industrias y los sectores innovadores; en ellos radica la semilla del cambio tecnológico y el futuro de las economías. En ese sentido, es importante fomentar el desarrollo de la biotecnología, pues está catalogada como actividad líder en materia científica e innovadora, tal como aquí se ha expuesto. La investigación que se hace en torno a los desperdicios del camarón cae justamente en el campo de la biotecnología; los productos que están arrojando esas pesquisas permiten la apertura de compañías que ahora son ejemplos de éxito en cuanto a la vinculación necesaria que debe registrarse entre la investigación básica (biotecnología), el sector público y privado, que se expresa en la generación de empresas competitivas a escala internacional. A continuación se aborda el caso sonoreense de Agrinos, A.S., antes Bioderpac, que merece analizarse.

BIOPRODUCTOS DERIVADOS DE RESIDUOS DE CAMARÓN: EXPERIENCIAS PRÁCTICAS

Moléculas bioactivas aisladas de los bioproductos del camarón

Quitina, quitosano y glucosamina

La quitina es un polisacárido natural que se encuentra en el exoesqueleto de los crustáceos, en las cutículas de los insectos y en las paredes celulares de los hongos. Y, debido a que es uno de los biopolímeros más abundantes, tiene aplicaciones biomédicas, biotecnológicas e industriales. La quitina se compone de unidades de N-acetil-D-glucosamina unidas por enlaces β -(1 \rightarrow 4). El quitosano se define como quitina con un grado de desacetilación superior a 60 por ciento, es desacetilada a quitosano por hidrólisis termo-alcalina, y se compone principalmente de unidades de D-glucosamina. La glucosamina es un amino monosacárido, que participa en la constitución de los glicosaminoglicanos, una clase importante de polisacáridos extra celulares complejos. El sulfato de glucosamina, clorhidrato de glucosamina y N-acetil-glucosamina se usan por lo común solos o como parte de una mezcla por la industria farmacéutica, para ayudar a reconstruir articulaciones dañadas, tendones, cartílagos y tejidos blandos (López Cervantes et al. 2009).

Hidrolizados proteicos

La gran mayoría de los alimentos contienen aminoácidos, tanto en forma libre como de proteína parcialmente hidrolizada o intacta. Los aminoácidos libres son de las fracciones más importantes de los no proteicos, y muchos de ellos, como la alanina, el ácido glutámico y la glicina son responsables del olor y sabor. La alanina y glicina tienen sabor dulce y el ácido glutámico tiene el sabor umami típico de los crustáceos. Además, los aminoácidos libres se han utilizado también como índices de calidad en peces y

crustáceos, y los aminoácidos libres, de estos hidrolizados, son importantes como suplementos nutricionales (Sánchez Machado et al. 2008).

Astaxantina

La astaxantina (3,3'-dihidroxi- β , β -caroteno-4, 4'-diona) es un cetocarotenoide oxidado de β -caroteno, presente en forma natural en una amplia variedad de organismos marinos y acuáticos. Debido a su atractivo color rosa, a sus funciones biológicas como precursor de la vitamina A y a su actividad antioxidante, la astaxantina se puede utilizar como colorante en alimentos y en medicina. En su estructura hay dos átomos de carbono asimétricos en C3 y C3' (López Cervantes et al. 2006b). Sin embargo, la trans-astaxantina es cuantitativamente el carotenoide más importante en los crustáceos.

Métodos para medir la calidad de los bioproductos

Para determinar la calidad de los bioproductos aislados de los residuos fermentados de camarón, se han desarrollado varios métodos simples y reproducibles. Para la pasta lipídica, se validaron dos de cromatografía de líquidos (HPLV UV-VIS); uno para cuantificar la astaxantina y el otro para la cuantificación simultánea de retinol y α -tocoferol. En ambos, los procedimientos de preparación de muestras son rápidos y fáciles, precisos y exactos, lo que confirma su utilidad para los análisis de rutina (López Cervantes et al. 2006b y 2006c). La cuantificación de la glucosamina se realiza mediante la cromatografía de líquidos (HPLV UV-VIS), que también se puede usar para estudiar la pureza de la quitina y el quitosano y los productos de su hidrólisis (Ibid. 2007).

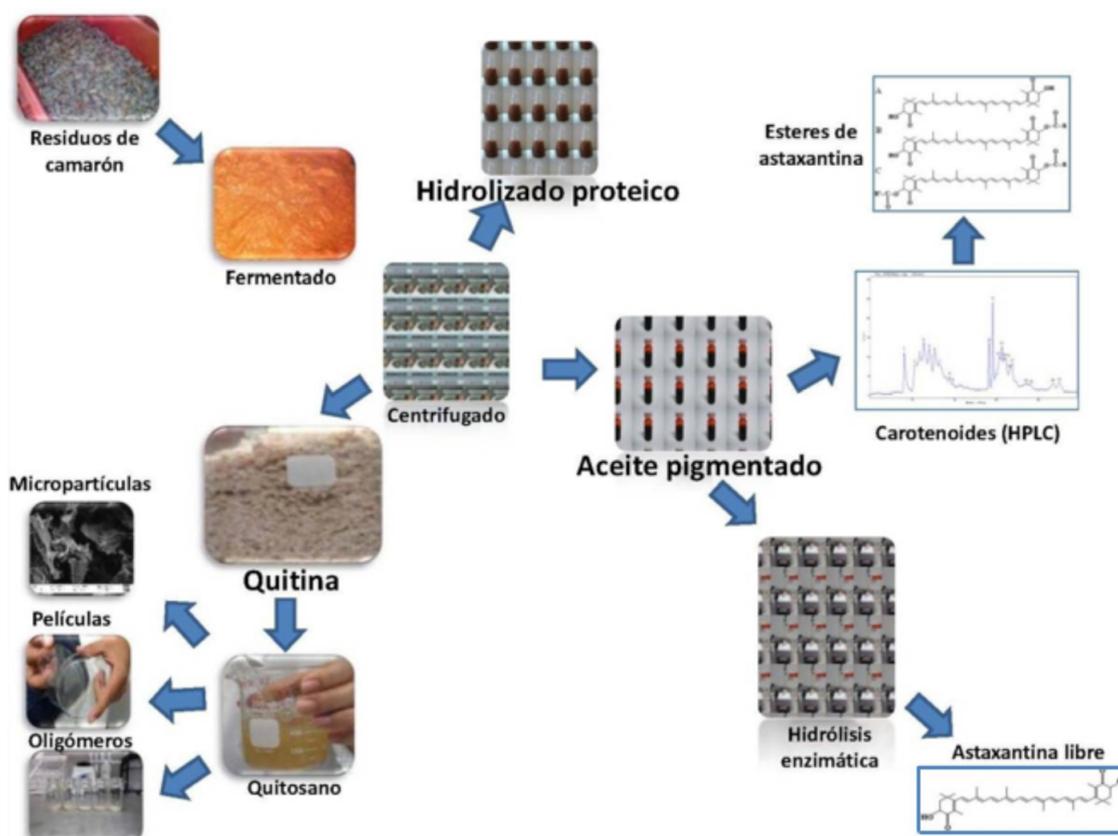
Para la caracterización de los hidrolizados proteicos se desarrollaron tres métodos de cromatografía de líquidos (HPLV FL), uno para la cuantificación simultánea de 16 aminoácidos libres, otro para la determinación de la riboflavina y aminoácidos aromáticos y el que hace posible la identificación de las aminas biogénicas. Éstos pueden ser útiles para medir la calidad sanitaria y nutricional de los hidrolizados proteicos de productos marinos (Bueno Solano et al. 2009a; 2009b y 2012).

INNOVACIÓN BIOTECNOLÓGICA CON RESIDUOS DE CAMARÓN: RESULTADOS Y PRODUCTOS

Productos de la fermentación

El producto final de la fermentación láctica de los residuos de camarón es un ensilado viscoso y de color anaranjado intenso, debido a la presencia del pigmento astaxantina. Después del proceso de fermentación, el ensilado fue centrifugado para separar los productos principales, que en peso seco, la mayor fracción correspondió al hidrolizado proteico (55 por ciento), luego a los sólidos finos (29), la quitina cruda (10) y pasta lipídica (5) (López Cervantes et al. 2009). El contenido de humedad en el ensilado fue de 75.29 por ciento; la composición promedio en materia seca de 51.72 para proteína, de 17.66 para cenizas y de 11.40 para los lípidos totales (véase [figura 1](#)).

Figura 1
Principales bioproductos: hidrolizado proteico,
aceite pigmentado y quitina



Fuente: elaboración propia

Pasta lipídica como fuente de astaxantina, colesterol, retinol y tocoferol

La pasta lipídica contiene cantidades pequeñas de componentes solubles como pigmentos carotenoides (astaxantina), esteroides (colesterol) y vitaminas A (retinol) y E (α -tocoferol), los cuales pueden ser de gran valor para la industria acuícola. Para la astaxantina, el contenido oscilaba entre 1.07 y 3.16 mg/g de pasta lipídica seca. La variación de los resultados puede atribuirse a la especie de camarón y las condiciones de la fermentación láctica. El contenido de retinol varía de 0.9 a 1.6 mg/100g de pasta lipídica seca, el de α -tocoferol de 26.2 a 49.0 mg/100g y el contenido de colesterol de 2416.8 a 4203.6 mg/100g. Los valores de α -tocoferol y el colesterol son superiores debido a que el hepatopáncreas es el órgano principal de almacenamiento de lípidos en el camarón (Ibid. 2006c).

Quitina cruda y purificada

Los componentes principales de la quitina de camarón desmineralizada y desproteïnizada son glucosamina (95.8 por ciento), cenizas (1.5) y humedad (2.3). El contenido de glucosamina varía de 890.7 a 988.2 mg/g de

materia seca. Esto se puede atribuir a la fuente de la muestra, procedimiento de purificación y condiciones de hidrólisis. Los resultados sugieren que la pureza de la quitina es satisfactoria y con valores más altos que lo reportado en estudios previos (Ibid. 2007).

Hidrolizado proteico como fuente de aminoácidos libres y totales

Para obtener una pasta concentrada y un polvo seco se procesó el hidrolizado proteico líquido. La humedad del polvo seco, la pasta concentrada y el hidrolizado líquido es de 5.8, 32.1 y 83.3 por ciento respectivamente. El contenido de aminoácidos totales en el hidrolizado líquido fue de 237.7 mg/g de materia seca y se identificaron 16 de ellos. Por aminoácido libre, el contenido varió de 9.3 mg/g, de materia seca para metionina, a 56.9 mg/g para tirosina, además se identificaron glicina y leucina y la tirosina fue el más abundante (Bueno Solano et al. 2009a). Resultados similares se han reportado para hidrolizado proteico de residuos de camarón producido comercialmente con proteasa.

Aceite pigmentado rico en astaxantina

El aceite pigmentado aislado de los residuos de camarón contiene principalmente ácidos grasos insaturados, sobre todo EPA y DHA y astaxantina. Además, por sus propiedades bioquímicas es un suplemento apropiado para consumo humano, y para la elaboración de piensos destinados a la pigmentación de peces y aves. Los lípidos son los componentes mayoritarios (95 por ciento). El contenido promedio de astaxantina es de 2.63 mg/g base seca. Los ácidos grasos en mayor cantidad son el linoleico (C18:2n6), el oleico (C18:1n9) y el palmítico (C16:0); el eicosapentaenoico (C20:5n3, EPA) y el docosahexaenoico (C22:6n3, DHA) suman 9 por ciento del total de ellos (Núñez Gastélum et al. 2011).

APLICACIONES INDUSTRIALES POTENCIALES DE LOS BIOPRODUCTOS

Entre las nuevas áreas de aplicación de los bioproductos aislados del camarón se incluye la preparación de películas de quitosano, como envases activos, y la síntesis de perlas de quitosano entrecruzado, para la adsorción de colorantes y metales pesados.

Películas de quitosano

El efecto antibacteriano de diversas películas elaboradas con base de quitosano (puro, mezcla de poliamida 6/66 con quitosano, plástico recubierto con quitosano y quitosano en solución) se comparó con la *Salmonella typhimurium* y *Staphylococcus aureus*. Las películas de quitosano no mostraron halos de inhibición, sin embargo, se observó inhibición por contacto. El recubrimiento quitosano sobre plástico (sistema bicapa) sólo presentó inhibición por contacto, sin aumentar el área. Los resultados de este estudio mostraron que la actividad antimicrobiana disminuye cuando el quitosano se combina con la matriz de plástico, y la mejor actividad se observó con películas preparadas por *casting* de la solución de quitosano (Rodríguez Núñez et al. 2012).

Perlas de chitosan para la adsorción de rojo allura

Para evaluar al quitosano como biosorbente de colorantes alimentarios y textiles, se diseñó un estudio cuyo objetivo específico fue la caracterización de quitosano y la preparación de perlas de quitosano entrecruzado

con tripolifosfato, para la eliminación del colorante alimentario rojo allura de soluciones acuosas. En un sistema de adsorción por lotes se examinó el pH, el tiempo y la dosis de adsorbente.

Las perlas entrecruzadas de quitosano pueden adsorber al colorante monoazo rojo allura, incluso a pH ácido a diferencia de las perlas de quitosano sin entrecruzar, que tienden a disolverse en soluciones ácidas. El quitosano modificado tiene características que le permiten reducir al mínimo la contaminación del medio ambiente, y aumentar la valorización de los residuos de camarón (Sánchez Duarte et al. 2012) (véase [figura 2](#)).



Fuente: elaboración propia.

Chitosan perlas para la adsorción de Fe (II) y (III)

Con un sistema por lotes se analizó el comportamiento de adsorción de los iones de Fe (II) y Fe (III) en solución acuosa con perlas de quitosano entrecruzado con tripolifosfato. En los estudios cinéticos y de equilibrio se consideró el efecto de pH de la solución, tiempo de contacto y la cantidad de adsorbente. Las condiciones óptimas de adsorción para el Fe (II) y Fe (III) fueron pH 5 y 3, la cantidad de adsorbente 2 y 1.9 g y el tiempo de contacto 70 y 60 minutos respectivamente. Los datos experimentales cinéticos y de equilibrio se integraron en diferentes modelos con el método de regresión no lineal. Como resultado, los mejores modelos evaluados fueron el pseudo-segundo orden y la isoterma de Redlich-Peterson. La capacidad de adsorción, sobre la base de Langmuir, fue de 11.65 mg/g para Fe (II) y de 13.72 mg/g para Fe (III). Este estudio confirma que el

quitosano, aislado a partir de residuos de camarón, se puede utilizar para eliminar determinados metales pesados en aguas residuales, sin dañar al ecosistema (Correa Murrieta et al. 2012) (véase [figura 2](#)).

DESARROLLOS TECNOLÓGICOS:

APROVECHAMIENTO COMERCIAL Y DE MERCADO

Con los conocimientos generados fue posible desarrollar y optimizar una tecnología limpia para el procesado biotecnológico de la cabeza de camarón y el aislamiento de tres bioproductos principales: quitina, hidrolizados de proteínas y un aceite rico en astaxantina.

La protección de este conocimiento científico y tecnológico generó cuatro patentes nacionales y tres en el Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT, por sus siglas en inglés). Hay dos en Estados Unidos; una está protegida en más de 52 países fuera del PCT,¹⁴ y la otra es un consorcio microbiano para la degradación y la separación de los bioproductos del camarón, que se encuentran depositados en la American Type Culture Collection (ATCC ®).

Con la transferencia de la tecnología se estableció una empresa dedicada a la biotecnología: Bioderpac S.A. de C.V., después se realizó una alianza estratégica con inversionistas noruegos, para crear la llamada Agrinos A.S., con sede en Noruega. Los productos comercializados para mejorar la agricultura y suelos tienen presencia en más de doce países.¹⁵

Filosofía de Agrinos A.S.

Agrinos A.S., es una compañía de tecnología ecológica, comprometida para mejorar la productividad y reducir el impacto ecológico de la agricultura moderna. Los productos de la línea de alta tecnología en este campo ayudan a practicar con gran éxito una agricultura altamente sustentable proporcionando cosechas de gran rendimiento, mejorando la eficiencia del uso de los fertilizantes convencionales y disminuyendo el daño ambiental. Agrinos A.S., ha propuesto un método integrado para la agricultura; los componentes de su tecnología están basados en un modelo donde la ecología del suelo y de la planta y la disponibilidad de nutrientes son partes de un todo. Emplea combinaciones de productos HYT™, que integran tecnología-instrucción-apoyo en un solo paquete, para proveer un resultado sustentable de alto rendimiento.

Componentes HYT™

El sistema HYT™ está preparado con múltiples componentes con características únicas de acuerdo a su patente tecnológica. Cuando los elementos del sistema HYT™ se usan en conjunto interactúan unos con otros para complementarse, y producir un efecto potencializador. Entre estos productos, los más importantes son: Sistema Microbiano Sinérgico™, BioAmin™ y Quitina Micronizada™.

Sistema Microbiano Sinérgico (código HYT™ A)

Es un concentrado líquido que contiene un ecosistema de origen natural a base de microorganismos del suelo. La fórmula para HYT™ a se ha diseñado para crear una biosfera microbiana completa y muy productiva en el suelo, y así restaurar y mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas. El HYT™ a no lleva nutrientes a las

¹⁴ US 2011/0151508 A1. Biodegradation process and composition.

¹⁵ Patente de Estados Unidos 2012/0084886 A1.

plantas tradicionales, sino que ofrece sus beneficios mediante la fijación de nitrógeno atmosférico, solubilización de los nutrientes minerales del suelo y forma vías de nutrientes simbióticos en el cultivo. Estos atributos mejoran la absorción de nutrientes y aumentan la eficiencia del uso de fertilizantes minerales.

BioAmin™ (código HYT™ B)

Es un complejo de L-aminoácidos, extraídos biológicamente de fuentes marinas. Al proporcionar a la planta L-aminoácidos altamente bio-disponibles, el HYT™ b la estimula en forma natural para que resista el estrés abiótico, aumente la actividad fotosintética, mejore las tasas de polinización y la formación de frutos.

La Quitina Micronizada™ (código HHYT™ C)

Este polímero se extrae de los residuos de la industrialización comercial del camarón, a través de un proceso de fermentación totalmente orgánica. La planta utiliza este polímero natural de alto nivel para reforzar la formación de raíces y estructuras celulares. Cuando se combina con otros elementos dentro del sistema de HYT™ A y HYT™ C, también estimula la habilidad natural de la planta para resistir las enfermedades y plagas del suelo.

Figura 3
Testimoniales de los productos HYT™ en diversos cultivos



Los productos de Agrinos A.S. (HYT™) se han comprobado en más de 1 500 evaluaciones académicas o comerciales alrededor del mundo. En la [figura 3](#) se muestran los resultados de algunos ensayos.

CONCLUSIONES

La investigación se enfocó al aprovechamiento integral de los residuos generados por las industrias procesadoras del camarón en Sonora y Sinaloa. Con lo cual se ha logrado desarrollar y optimizar una tecnología limpia para la transformación biotecnológica de la cabeza de camarón en tres productos principales: quitina, hidrolizados proteicos y un aceite rico en astaxantina.

La creación de una empresa biotecnológica es una tarea a largo plazo, que involucra la traducción del conocimiento científico en innovaciones con éxito comercial. A la par, las empresas necesitan tener acceso a la investigación y ser capaces de captar su valor comercial mediante patentes y desarrollo de productos. Es importante valorar el conocimiento debido a que es parte integral de todos los procesos productivos.

BIBLIOGRAFÍA

Bracamonte Sierra, Alvaro. 2011. Estratificación de productores pesqueros y acuícolas para el estado de Sonora. Informe final de investigación. Hermosillo: Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y El Colegio de Sonora (COLSON).

_____ y Rosana Méndez Barrón. 2012. Apertura económica y pesca: desregulación contradictoria. En *Pesquerías globalizadas*, coordinado por Gloria Ciria Valdez Gardea, 131-156. Hermosillo: COLSON.

Bueno Solano, Carolina, Jaime López Cervantes, Olga Campas Baypoli, R. Lauterio García, N. Adam Bante y Dalia Sánchez Machado. 2009a. Chemical and Biological Characteristics of Protein Hydrolysates from Fermented Shrimp By-products. *Food Chemistry* 112: 671-675.

_____, Jaime López Cervantes, Olga Campas Baypoli, Mario Cortez Rocha, R. Casillas Hernández, J. Milán Carrillo y Dalia Sánchez Machado. 2009b. Quantitative HPLC Analysis of Riboflavin and Aromatic Amino Acids in Three Forms of Shrimp Hydrolysates. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies* 32: 3009-3024.

_____, Jaime López Cervantes, Dalia Sánchez Machado y Olga Campas Baypoli. 2012. HPLC Determination of Histamine, Tyramine and Amino Acids in Shrimp By-products. *Journal Brazilian Chemical Society* 23 (1): 96-102.

Correa Murrieta Ma. A., Jaime López Cervantes, Dalia Sánchez Machado, Reyna Sánchez Duarte, Jesús Rodríguez Núñez y José Núñez Gastélum (en prensa). A Chitosan Modified for Adsorption of Iron: Synthesis and Behavior. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*.

Díaz, Víctor, Emilio Muñoz y Juan Espinosa de los Monteros. s/f. La empresa biotecnológica en España: un primer mapa de un sector innovador. Documento de trabajo 0101. Grupo de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CSIC). Unidad de Políticas Comparadas.

- López Cervantes, Jaime, N. Adam Bante y Dalia Sánchez Machado. 2009. Separation and Biochemical Characterization of the Products from Fermented Shrimp Wastes. En *Sea By-products as Real Material: New Ways of Application*, editado por E. Le Bihan. Kerala, India: Transworld Research Network.
- _____, Dalia Sánchez Machado y K. Delgado Rosas. 2007. Quantitation of Glucosamine from Shrimp Waste using HPLC. *Journal of Chromatographic Science* 45: 195-199.
- _____, Dalia Sánchez Machado y J. Rosas Rodríguez. 2006a. Analysis of Free Amino Acids in Fermented Shrimp Waste by High-performance Liquid Chromatography. *Journal of Chromatography A* 1105: 106-110.
- _____, Dalia Sánchez Machado, M. Gutiérrez Coronado y N. Ríos Vázquez. 2006b. Quantification of Astaxanthin in Shrimp Waste Hydrolysate by HPLC. *Biomedical Chromatography* 20: 981-984.
- _____, Dalia Sánchez Machado y N. Ríos Vázquez. 2006c. High-performance Liquid Chromatography Method for the Simultaneous Quantification of Retinol, α -tocopherol, and Cholesterol in Shrimp Waste Hydrolysate. *Journal of Chromatography A* 1105: 135-139.
- Núñez Gastélum, José, Dalia Sánchez Machado, Jaime López Cervantes, Perfecto Paseiro Losada, Ana Sendón, Ana Sanches Silva, Helena S. Costa, Goizane Aurrekoetxea, Inmaculada Angulo y Herlinda Soto Valdez. 2011. Physicochemical Evaluation of Pigmented Oil Obtained from Shrimp Head. *Revista Grasas y Aceites* 61(3): 321-327.
- OEIDRUS-SAGARHPA. 2009. Diagnóstico pesquero 2000-2008 de Sonora. Gobierno del Estado de Sonora. Hermosillo.
- _____. 2006. La pesca en los municipios costeros del estado de Sonora. Gobierno del Estado de Sonora. Hermosillo.
- Palafox M., Germán, Rafael F. Pérez Ríos. 2003. Diagnóstico socioeconómico de la pesca y acuicultura en el estado de Sonora. *Quehacer Parlamentario, Revista del Instituto de Investigaciones Legislativas* 9.
- Rodríguez Núñez, Jesús, Jaime López Cervantes, Dalia Sánchez Machado, Benjamín Ramírez Wong, Patricia Torres Chávez y Mario Cortez Rocha. 2012. Antimicrobial Activity of Chitosan-based Films Against *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Food Science and Technology* 47: 2127-2133.
- Sánchez Duarte, Reyna, Dalia Sánchez Machado, Jaime López Cervantes y Ma. A. Correa Murrieta. 2012. Adsorption of Allura Red Dye by Cross-linked Chitosan from Shrimp Waste. *Water Science and Technology* 65 (4): 618-623.

Sánchez Machado, Dalia, B. Chavira Willys y Jaime López Cervantez. 2008. High-performance Liquid Chromatography with Fluorescence Detection for Quantitation of Tryptophan and Tyrosine in a Shrimp Waste Protein Concentrate. *Journal of Chromatography B* 863: 88-93.

Vega Jurado, Jaider, Antonio Gutiérrez Gracia e Ignacio Fernández de Lucio. 2009. La relación entre las estrategias de innovación: coexistencia o complementariedad. *Journal of Technology Management & Innovation* 4 (3): 74-88. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27242009000300007&lng=es&tlng=es.10.4067/S0718-27242009000300007

FANOSA: COMPETITIVIDAD, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y VINCULACIÓN. UN CASO DE ESTUDIO

Alejandro Duarte Lucero¹

Juan Carlos Campoy Ross²

Bernardo Chaparro Armenta³

Rosana Méndez Barrón⁴

INTRODUCCIÓN

En México, la industria del poliestireno expandido (EPS, por sus siglas en inglés) ha sido rentable y muy competitiva por décadas. Este tipo de materiales tiene alta demanda por su amplia gama de aplicaciones. Debido a ello, buena parte de los fabricantes cuentan con una larga trayectoria en el sector y marcadas estrategias innovadoras, a fin de mantenerse competitivos. El caso de FANOSA es interesante y representativo en la industria del poliestireno expandido; es un ejemplo de cómo, a partir de la vinculación entre empresas, gobiernos y academia, es posible desencadenar procesos de escalamiento tecnológico, que mejoran la competitividad empresarial y el desarrollo económico regional.

La tecnología utilizada por las firmas que conforman este sector se ha importado, desde sus inicios, de Estados Unidos, Italia, Alemania, Japón, Australia y, en fecha reciente, de China. Estas naciones mantienen un proceso constante de innovación en la elaboración de materiales, así como en el diseño de equipo y definición de procedimientos alternativos para fomentar la eficiencia y productividad de la industria química, en especial aquella cuyo producto final es el poliestireno.

FANOSA exhibe un proceso de innovación continua. En un primer momento fue sustentado en la adquisición de equipos avanzados, traídos de fuera, sobre todo de Europa. Dicho equipamiento proporcionaba una ventaja competitiva y tecnológica, pero también implicaba inversiones considerables y dependencia desmesurada de la tecnología extranjera. En el marco de esta situación, recientemente se crearon mecanismos de escalamiento tecnológico de carácter local-regional; a partir de la conformación de equipos de trabajo y proyectos de desarrollo industrial, dirigidos a diseñar y adaptar nuevas tecnologías y procedimientos eficientadores de los procesos de producción, así como de la calidad de los productos.

¹ Gerente corporativo técnico de FANOSA. Correo electrónico: aduarte@fanosa.com

² Gerente de planta FANOSA Hermosillo. Correo electrónico: jccampoy@fanosa.com

³ Asesoría en ingeniería de proyectos. Correo electrónico: bchaparro@sci-e.mx

⁴ Asistente de investigación de El Colegio de Sonora. Correo electrónico: rosanamb00@hotmail.com

Estas innovaciones se han traducido en el aumento de la competitividad, la reducción de costos y la mejora continua. En parte, dicha evolución ha sido posible gracias a la vinculación entre el sector público, las instituciones de educación superior (IES) y FANOSA. Esta iniciativa permitió concretar durante 2010, 2011 y 2012 proyectos de desarrollo y escalamiento tecnológico con las IES y las empresas locales, cuyos resultados permitieron visualizar nuevos mercados, además de la generación de otros. Describir y analizar los resultados obtenidos de esa experiencia de vinculación es el objetivo central de este capítulo. De igual forma, se busca destacar que dicha práctica se inscribe como parte de las estrategias de competitividad sistémica (nivel meta/meso), que la literatura ha planteado como vía para afianzar la posición competitiva de las empresas en general y de FANOSA en particular.

Para atender ese propósito, en este capítulo se enfatiza el concepto de competitividad y sus enfoques, con hincapié en la sistémica, como marco para caracterizar los incrementos en la productividad permanente de las empresas y países competitivos. Se presenta el caso de FANOSA; se señalan sus principales características, historia y esquema de trabajo, para después abordar su experiencia con la apropiación de estos mecanismos de impulso a la productividad, así como algunos de los resultados más concretos. Al final se incluye una serie de conclusiones y reflexiones finales.

LA COMPETITIVIDAD COMO ESTRATEGIA DE DESARROLLO INDUSTRIAL

Antecedentes del concepto de competitividad

El concepto de competitividad surge como resultado de diversos cambios ocurridos en la segunda parte del siglo XX, en relación con el estudio del crecimiento y la capacidad económica de una región (país) o de una unidad productiva. Un primer avance fue considerar que no es un fin o meta, sino que constituye un esquema, acción o política a seguir para ser más productivos, generar mayor utilidad y beneficios y para eficientar los procesos de producción. Esta discusión se dio en los círculos empresariales, y después fue retomada por académicos, quienes han propuesto otras definiciones y enfoques de estudio. Estas ideas surgieron a mediados de la década de 1980.

Existe una gama diversa de definiciones de competitividad, desde propuestas muy específicas hasta otras amplias y complejas, que incorporan aspectos puramente económicos, hasta los de carácter técnico, sociopolítico y cultural. De la misma forma, hay distintas etapas de acuerdo a la unidad de análisis: país, sector, empresa o producto. En ese sentido, la conceptualización avanza de lo general a lo particular.⁵ No obstante, uno de los esquemas analíticos de mayor fortaleza dentro del debate surge en las escuelas de negocios de Estados Unidos y Europa; se enfatizaba en los aspectos gerenciales y empresariales y en específico en cómo las empresas compiten por mercados y recursos, con el objetivo de incrementar la cuota de mercado a escala local y mundial.

⁵ La competitividad es un fenómeno complejo, y ello se observa al revisar algunas definiciones: a) es el grado en el cual una nación puede, en un entorno de libre comercio y condiciones de mercado equitativas, producir bienes y servicios que participen dentro de los mercados internacionales, mientras mantiene y expande los ingresos reales de la población en el largo plazo (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE 2002); b) es el resultado de una serie de factores económicos, geográficos, sociales y políticos, que conforman la base estructural del desarrollo de una nación; c) es la capacidad de una empresa para satisfacer una necesidad del consumidor con mayor eficiencia que otra que también lo pueda hacer (Ibáñez y Caro 2001); d) es la capacidad dinámica que tiene una cadena localizada especialmente para mantener, ampliar y mejorar de manera continua y sostenida su participación en el mercado, tanto doméstico como extranjero, a través de la producción, distribución y venta de bienes y servicios en el tiempo, lugar y forma solicitados, con el fin último de beneficiar a la sociedad (Rojas y Sepúlveda 1999); e) cuando ocurre entre naciones, es un campo de conocimiento económico que analiza los hechos y políticas que dan forma a la habilidad de una nación para crear y mantener un ambiente que sostenga la creación de valor por parte de sus empresas y una mayor prosperidad para su población (visión académica); y f) entre naciones, mira cómo éstas crean y mantienen un ambiente competitivo entre sus empresas (visión empresarial) (Girelli 2004).

Los primeros avances hacia una concepción más amplia e interdisciplinaria de la competitividad ocurrieron a finales de la década de 1980, cuando Michael Porter (1990) utilizó el término “ventajas competitivas” para analizar los factores de las empresas, y diferenciarlos de los enfoques basados en las “ventajas comparativas”. En su análisis, Porter señaló que la principal diferencia entre estas es que las competitivas se hacen o se construyen (tecnología, capacidad de innovación y factores de especialización) mientras que las comparativas se heredan (mano de obra, territorio).⁶

El crecimiento reciente de la economía en un contexto de globalización plantea un serio desafío, pues exige a las organizaciones ser más flexibles y apuntar a la mejora continua. La competitividad ya no depende de los precios o la calidad de los productos, sino que ahora influyen otros elementos cualitativos como el contexto político y cultural, aspectos educativos e incluso de sustentabilidad social y ambiental; todos redefinen y condicionan la permanencia a largo plazo de las empresas y los agentes productivos. Asimismo, los avances tecnológicos se canalizan hacia la eficiencia en servicios, productos y procedimientos; se introduce el aprendizaje continuo y de alto desempeño, así como el manejo de conocimientos y habilidades sociales o vinculación interinstitucional.

Al igual que las ideas en torno a los determinantes del crecimiento económico y la productividad se renovaron, en función del avance mismo del desarrollo económico global, el concepto de competitividad se reformula adaptándose a este nuevo contexto internacional. Entre los elementos por considerar destacan la dotación de infraestructura,⁷ un entorno institucional apropiado para la expansión de las empresas, así como la presencia de centros de generación y difusión del conocimiento científico y tecnológico. De igual forma, se requieren canales de interacción para la transferencia efectiva de conocimiento, es decir, la comunicación entre los actores del desarrollo económico (empresas, gobierno, academia).

En ese escenario, el papel del sector público es clave. Ante los retos de la globalización, los gobiernos se ven obligados a diseñar estrategias de apoyo a las empresas.⁸ Hay tres elementos cruciales para la consolidación de la competitividad: colaboración más estrecha entre empresas y gobiernos; integración eficaz en redes o entre la cadena de valor y el aprovechamiento óptimo de las nuevas tecnologías.

La competitividad tradicional versus la sistémica

En un principio se consideraba que la competitividad de una compañía dependía de su habilidad para obtener utilidades, garantizar su permanencia en el sector, así como propiciar crecimiento a largo plazo. Esta misma situación también se trasladaba al ámbito nacional, y entonces se entendía a un país competitivo como aquél cuya producción incursionaba en mercados internacionales. Esta visión se sustenta en el conocido enfoque tradicional, que sostiene que la competitividad se logra a partir de la eficiencia productiva a escala, el manejo de costos, etcétera. Promueve como incentivos la liberalización comercial y la reducción de costos laborales. No obstante, al partir del supuesto de mercados internacionales competitivos (competencia perfecta), este enfoque se ve limitado, pues se sabe que sobre todo dichos mercados tienden a ser imperfectos.

⁶ Los trabajos de Porter (1990) han sido fundamentales para el estudio de la competitividad en una firma. A partir de su *diamante de la competitividad* ha sido posible analizar las ventajas competitivas en cuatro ejes: instituciones de apoyo, empresas de apoyo, demanda sofisticada y empresas clave en la competencia local.

⁷ Entre la básica están las carreteras y telecomunicaciones; la tecnológica y científica, así como una dotación mínima de recursos de salud y ambiente.

⁸ La globalización ha intensificado la competencia. La principal dificultad que deben afrontar las empresas consiste en aprovechar los nuevos recursos y mercados, en un contexto de fuerte y creciente competencia mundial. Para los gobiernos, el problema consiste en cómo formular y aplicar las políticas y estrategias de apoyo correspondientes.

Ante estas limitaciones, surgen algunas propuestas alternas; una de las más recientes, y que mayor interés generó entre los estudiosos del tema, culminó con el surgimiento del *enfoque de competitividad sistémica*; parte del supuesto de que sólo es alcanzable mediante un proceso integral no limitado a la esfera productiva o la reducción de costos, sino que incluye elementos no productivos como la dirección y gestión de la empresa, la introducción de innovaciones en el proceso productivo, en la mercancía o en la organización interna, así como el aprovechamiento de las políticas industriales.

Este enfoque, como su nombre lo dice, parte del supuesto de que las empresas y países funcionan dentro de un entorno o sistema, donde hay diferentes esferas; en ese sentido, deben detectarse las fortalezas o debilidades dentro de él. Presupone que el incremento de la productividad implica incorporar factores no económicos como la educación, ciencia, estabilidad política o sistemas de creencias.⁹ El enfoque clasifica o reagrupa a todos los elementos en cuatro categorías de análisis: meta, macro, meso y micro (véase [figura 1](#)).

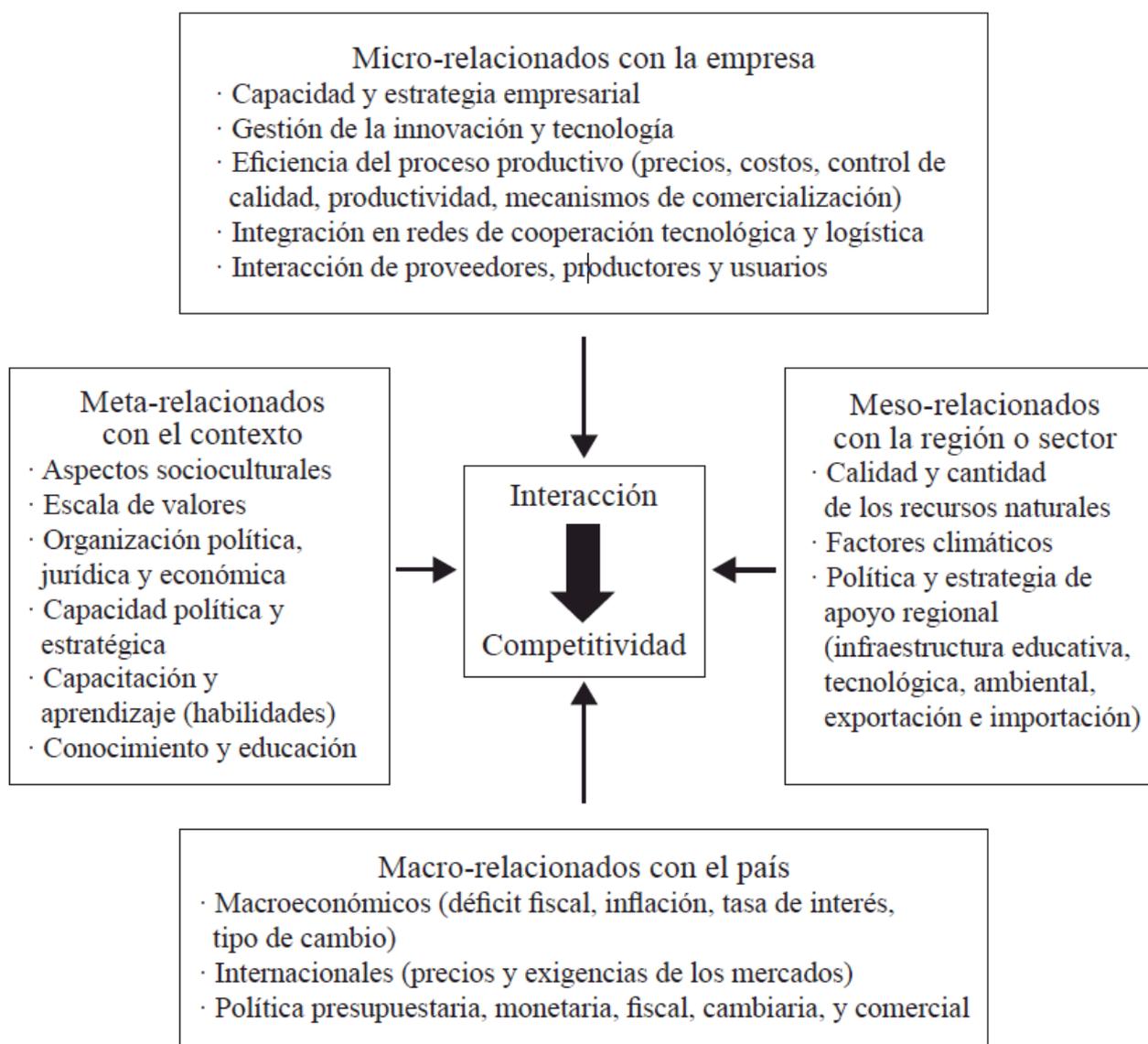
Figura 1
Antecedentes teóricos del concepto de competitividad

Paradigma	Periodo	Explicación
Crecimiento versus desarrollo	Segunda mitad de la década de 1970	-El desarrollo significa cambio en la estructura económica y social, y no sólo crecimiento del producto -El desarrollo se refiere a “un incremento en la calidad de vida asociada con cambios -no necesariamente incrementos- en el tamaño y composición de la población, en la cantidad y naturaleza de los empleos, en la cantidad y precios de los bienes y servicios producidos localmente” (Conroy 1975)
Globalización	Década de 1980	-La competencia entre firmas se incrementa sustancialmente, como resultado de los procesos de desregulación -Decrece la importancia de los aranceles y barreras no arancelarias en la formación de los precios -Las firmas modifican sus criterios de localización, con base en el logro de menores costos y niveles de calidad -El avance del transporte y las comunicaciones permite una integración mundial de la producción
Sustentabilidad	Década de 1980	-El desarrollo económico se presenta cuando la economía tiende a mejorar el nivel de vida, y se sustenta en condiciones de reproducibilidad -El enfoque, en principio, se dirige a la reproducibilidad de los recursos naturales, pero se puede ampliar a todos (personas en particular)
Competitividad	Segunda mitad de la década de 1980	-El desarrollo significa cambio estructural con base en la sustentabilidad del proceso productivo -La competitividad es la habilidad de las unidades económicas para crear estructuras que permitan una modificación de las condiciones técnicas de la producción (basada en conocimientos), y esto lleve al incremento del nivel de vida de los participantes

Fuente: tomado de Eugenio López Ortega (1999).

⁹ No obstante, aunque considera al cambio técnico como un aprendizaje gradual, reconoce que el aprovechamiento en materia de tecnología varía de un sector a otro.

Figura 2
Determinantes de la competitividad sistémica



Fuente: adecuado de Esser et al. (1994).

- Meta: involucra a los aspectos del recurso humano que se insertan de forma complementaria en cada uno de los otros tres (factores socioculturales, escala de valores, patrones básicos de organización política, jurídica y económica, capacitación y habilidades, conocimiento y educación, capacidad estratégica y política).
- Macro:¹⁰ incluye elementos macroeconómicos (déficit fiscal, inflación, tipo de cambio y tasa de interés). Además influyen aspectos externos como precios internacionales y exigencias de calidad de los mercados (gustos y preferencias, segmentación, volumen y tendencia de la demanda). Aquí, las

¹⁰ Es importante destacar que existen algunos autores que fusionan los niveles meta y macro concentrando en uno solo todo lo relacionado con el contexto macroeconómico y sociocultural (factores externos a la empresa).

políticas presupuestaria, monetaria, fiscal, cambiaria y comercial juegan un papel clave en el apoyo a la competitividad).

- Meso: destaca componentes espaciales (localización), de infraestructura y logística, calidad y cantidad de recursos naturales y factores climáticos. Así como la presencia de las políticas de corte regional relacionadas, como la de ciencia y tecnología, de infraestructura y equipamiento, ambiental e incluso las relacionadas con el comercio, en específico, las referidas al apoyo en exportaciones e importaciones.
- Micro: agrupa factores que condicionan el comportamiento de la empresa como productividad, costos, organización, innovación y tecnología, control de calidad, gestión y logística empresarial, mecanismos de comercialización, tamaño de la empresa y distancia entre ésta, sus fuentes de insumo y los mercados.

En síntesis, el enfoque sistémico se caracteriza por la búsqueda de un desarrollo industrial exitoso, que no se logra sólo a través de una función de producción en el nivel micro, o de condiciones macroeconómicas estables en el nivel macro, sino también por la existencia de medidas específicas del gobierno y de organizaciones privadas de desarrollo orientadas a fortalecer la competitividad de las empresas (nivel meso). Además, la capacidad de vincular las políticas meso y macro está en función de un conjunto de estructuras políticas y económicas y de uno de elementos socioculturales y patrones básicos de organización (nivel meta/meso).¹¹

FANOSA: ESCALAMIENTO TECNOLÓGICO Y MECANISMOS DE COMPETITIVIDAD SISTÉMICA

Antecedentes

FANOSA es líder, desde hace más de 40 años, en la fabricación de productos de EPS, que ofrece al mercado y que cumplen con los estándares mundiales más exigentes. En la actualidad sus esfuerzos están enfocados a los mercados de la construcción, empaque industrial moldeado y cortado, al agropecuario y pesquero y al sector doméstico.¹²

Desde sus inicios, FANOSA ha estado a la vanguardia y mantiene una búsqueda constante de usos nuevos para el EPS. Una de sus principales habilidades implementadas con esta idea es el “suministro a tiempo”, pues al contar con flotillas propias de transporte ha logrado mantener una red de distribución eficiente en todo el centro y norte de México, así como en el suroeste de Estados Unidos. Asimismo, dada la versatilidad de los productos y sus características termomecánicas, goza de una demanda creciente. En cada producto fabricado se ha incluido experiencia, ingeniería avanzada y tecnología de punta; una prueba del alcance de esta meta es la obtención de varias certificaciones.¹³ Una de las cualidades principales del

¹¹ De la misma forma, se pueden definir las herramientas de política susceptibles de incentivar la competitividad de las empresas y los países, también es posible especificar los actores sociales (agentes, grupos, organizaciones e instituciones) que participan en el proceso, así como las funciones que desempeña cada uno. Es obvio que las características de las políticas de acción como las de los actores dependerán, en gran parte, del contexto y de la estructura del país o la región en cuestión.

¹² En las más de cuatro décadas de historia y trabajo, FANOSA ha alcanzado presencia en gran parte de México. A la fecha cuenta con 10 plantas de producción, 18 centros de distribución y una larga cadena de distribuidores en todo el país.

¹³ La calidad ha sido la meta, y prueba de ello son las certificaciones que la respaldan, como la norma de aprobación, FM 4880 Class 1, Resistencia al fuego de paredes con aislamiento o paneles de pared/techo, materiales interiores en acabados o recubrimientos, que establece la resistencia contra el tiempo de exposición al fuego del material, de al menos 45 minutos para un espesor de 100 mm y 120 minutos para uno de 200 mm.

EPS es que es ideal para el aislamiento y la protección, y para mejorar los métodos y sistemas constructivos tradicionales.

FANOSA cuenta con un centro de trabajo para más de ochocientas personas, con infraestructura industrial sólida y de gran demanda de productos. Aunque desde sus inicios los equipos y herramientas se han adquirido en Australia, Italia, Estados Unidos y China; no obstante, se ha consolidado un grupo de ingeniería que ha mejorado, adaptado y construido algunos de sus equipos. Las instalaciones, la capacidad de producción y la calidad le han permitido mantenerse entre los principales fabricantes de material constructivo a base de EPS del país. Ello queda plasmado en la política de calidad de la empresa, que se concreta a “satisfacer las expectativas de nuestros clientes, ofreciéndoles productos de calidad, excelente servicio y entregas a tiempo; es el proceso de mejora continua nuestro camino; son nuestros colaboradores comprometidos y participativos, factor fundamental para lograrlo” (www.fanosa.com/fanosa/politicas.html).

Desarrollo, innovación tecnológica y vinculación interinstitucional

En los últimos años FANOSA ha implementado una estrategia de apropiación de tecnología, sustentada en la vinculación y colaboración interinstitucional. En esta dinámica se han aplicado algunos de los planteamientos de la competitividad sistémica, en especial los que corresponden a los niveles meta/meso; los aspectos relacionados con el ambiente de colaboración o con los mecanismos de cooperación y vinculación entre sector productivo, gobierno y academia. Como parte de éstos se han establecido convenios con la Universidad de Sonora (UNISON), con el Instituto Tecnológico de Hermosillo (ITH) y con el Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (ahora Universidad Estatal de Sonora, UES). Durante 2010 y 2011, FANOSA realizó inversiones significativas, básicamente en dos proyectos: a) tecnologías de corte inteligente y reciclado para desarrollo de productos nuevos a base poliestireno (2010) y b) tecnología para fabricar otros productos sintéticos ininflamables (2011). A continuación se presentan las especificaciones de cada uno, algunos antecedentes, sus alcances principales y resultados a la fecha.

Tecnologías de corte inteligente y reciclado para desarrollo de productos nuevos a base poliestireno

Con estas tecnologías se contempla cubrir las necesidades de equipos nuevos para subprocesos involucrando a terceras personas y aprovechando el capital intelectual de Sonora, con la articulación de la empresa al sector educativo, en específico con las IES. Con este proyecto, y la colaboración, la investigación, el desarrollo y la innovación de la tecnología fue que FANOSA mejoró sus procesos, y pudo reducir los tiempos de configuración del *setup* de corte en producción.

En la planta ubicada en Hermosillo, Sonora, se han diseñado y fabricado equipos, con la colaboración de ingenieros y expertos sonorenses, que corresponden a una línea óptima, de menor consumo y automatizada (incluye la incorporación del primer robot en sus líneas de producción). De la misma forma, el proyecto tuvo un alto grado de vinculación con el sector educativo estatal, sobre todo con instituciones tecnológicas por sus especialidades e infraestructura; se estableció una colaboración con el ITH y la UES, a la que se sumó el grupo de ingeniería FANOSA y la empresa Gama Sci-E.

El proyecto consistió en el establecimiento de las estaciones para la fabricación de bovedilla, placa y bovedilla aperaltada a base de poliestireno, para la construcción. La línea escalada a planta piloto está diseñada para cortar bloques de poliestireno de 1.30 metros de ancho x 1.60 de alto y 6.00 de largo; el equipo es capaz de hacer 80 cortes horizontales a todo lo largo de cada bloque, cinco verticales también a

lo largo y 15 verticales (trasversales a los dos primeros). Se diseñaron, adaptaron, fabricaron e integraron 25 estaciones de trabajo, entre las que se encuentran un volteador de bloques, un arpa de corte horizontal (frontal), una troncadora para corte vertical, dos elevadores, un empacador, una máquina de corte (resacado), bandas, un sistema de trituración de *scrap* y colector de polvos de poliestireno y un robot. Todo automatizado y con procesos innovadores diseñados por expertos de FANOSA, la UES, el ITH y Gama Sci-E.

Este proyecto fue desarrollado en el marco del programa de estímulos a la innovación en su convocatoria 2010 en la modalidad Proinnova, y en la que FANOSA invirtió alrededor de seis millones de pesos, y sus efectos se reflejaron en los ámbitos que se describen a continuación.

- *Productividad.* El desarrollo de esta tecnología repercutió en los siguientes indicadores:
 - Las máquinas anteriores sólo podían cortar bloques de poliestireno de 127 cm de ancho y de 105 cm de altura; con las actuales se puede cortar bloques de 127 cms de ancho x 160 cm de alto.
 - La producción aumenta debido a un cambio de *setup* en la línea de corte, que con esta tecnología sólo tarda un minuto. La misma operación, con el equipo convencional de las plantas tarda alrededor de 90 minutos.
 - El esfuerzo físico del trabajador disminuye. No hay necesidad de coleccionar manualmente el desecho de los cortes ni llevarlo a un molino, con ello se reducen dolores físicos y molestias, y se protege así la integridad de las personas.
- *Ahorro de energía.* Este ocurre en dos puntos principales, mediante la adaptación de sistemas inteligentes y gracias a la coordinación de los procesos y sus equipos en líneas de producción, es decir, el uso adecuado y oportuno de cada equipo mediante la automatización y temporización en los procesos, lo que permite ahorrar 40 por ciento de la energía eléctrica consumible por los sistemas de uso tradicional. Esto se debe a los dispositivos de menor consumo y mayor rendimiento.
- *Social-laboral.* Con la aplicación de esta tecnología se proyectaba la apertura de una planta más en México, cuyas operaciones iniciarían para finales de 2013, o bien, adicionar otra línea en una planta existente que hoy no trabaja la bovedilla. Aplicar cualquiera de estas opciones permitiría un aumento en el empleo, que beneficiaría a entre 70 y 100 familias, e indirectamente a alrededor de 500. A futuro se considera la apertura de otra línea en una localidad diferente.
- *Ambiental.* Disminución de 75 a 90 por ciento de polvos no controlados arrojados a la atmósfera; y de 95 a 98 por ciento de material sólido
- *Económico.* Menor costo de producción; con esto se reduce el valor comercial o bien se logra más competitividad de los productos ya existentes.
- *Tecnológico.* La vinculación con las IES del estado ha permitido solidificar relaciones. Esta red de colaboración entre la empresa y las instituciones ha llevado a asumir el compromiso de impulsar el desarrollo académico y a reforzar la propiedad intelectual.
- *Energético.* Reducción de costos de consumo energético a partir de la sincronización de la línea. Este modelo piloto de línea permitirá a las demás plantas invertir en esta tecnología, con un periodo de recuperación no mayor a cuatro años.
- *Científico-tecnológico.* Consolidación de una relación entre las IES y la empresa, con la que se aportan recursos humanos de alta especialización. Los miembros del área de ingeniería de FANOSA adquieren habilidades y prácticas industriales nuevas.

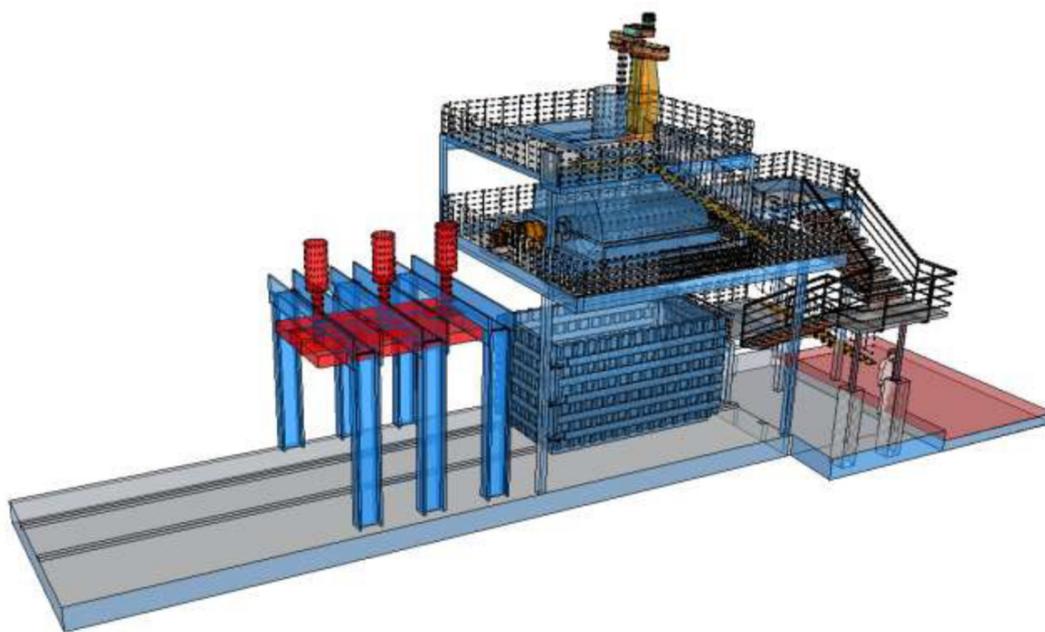
*Productos sintéticos ininflamables:
desarrollo de tecnología*

El proyecto de investigación tecnológica se inició con el desarrollo de materiales, en específico de uno con propiedades ininflamables, basadas en una matriz de resina fenólica y perlitas de EPS. Después fue el escalamiento de laboratorio a planta piloto. Con esto se buscó obtener un material de mejor control de las propiedades térmicas, ininflamables, de tensión y compresión a la carga, así como un estricto control de calidad conforme a las normas internacionales, que regulan los materiales para la construcción.

En sí, el objetivo principal fue fabricar dicho material y su mecanismo eficiente de producción de bloques, que contiene compuestos formados por una resina fenólica y perlitas de RESINA+EPS. Se logró al combinar un material ininflamable, un agente de aglomerante que luego sirviera para mantener unidas a las perlitas de EPS y un agente de color, entre otros; todos se mezclaron en un reactor que data fundamentalmente de un mezclador planetario, una vez homogenizado se vertió a un segundo reactor para agregarle las perlitas de EPS y revolverlas hasta lograr una mezcla homogénea de mayor densidad (entre 30 y 40 kg/m³, según los estándares de construcción en Estados Unidos). En el proceso, la mezcla crea una reacción exotérmica que le permite trabajar sin agentes externos como fuentes de calor, lo que significa que para su fabricación se requiere poca energía.

Durante 2010 se desarrolló una línea automatizada de corte de bloques de EPS, que se podrá utilizar en 80 por ciento con este nuevo material para producir las mismas piezas de construcción, con características estéticas y funcionales muy importantes, como la no inflamabilidad, alta tensión a la carga y bajo peso, entre otras. Esto significa que la adaptación de las líneas que actualmente operan las plantas de FANOSA podrá producir este material con los mismos procesos, y así lanzar al mercado un producto nuevo.

Figura 3
Diseño de planta industrial
para la producción del material nuevo



Fuente: UNISON (2011).

Además de la obtención de productos nuevos, el proyecto permitió la interacción de investigadores y profesionales de distintos sectores. Se formó una red de innovación con instituciones dentro y fuera de Sonora, para esta investigación aplicada y obtener, mediante la incorporación al grupo de cinco expertos en el área de materiales, un producto nuevo elaborado a base de materia prima que le da valor agregado. Asimismo, contó con el esfuerzo conjunto de FANOSA y Gama Sci-E, en colaboración directa con las universidades de Sonora, Autónoma de Coahuila, de Guadalajara y el Colegio de Educación Profesional Técnica del Estado de Sonora. El objetivo principal fue elaborar un material a base de perlita de poliestireno preexpandida, inmerso en una matriz fenólica, retardantes de fuego e intumescentes de flama, con propiedades para reducir significativamente la propagación de fuego en casas habitación o en las industrias.

El beneficio de nuevos materiales de aislamiento térmico se ve reflejado en la economía de la sociedad, así como en el planeta debido a que es poca la emisión de CO₂ de aparatos de aire acondicionado. La finalidad de este proyecto es que las casas o en general los inmuebles posean un aislamiento térmico importante, así como una mayor estética arquitectónica a bajo costo. Esto ha permitido que no sea un lujo el aislamiento y la protección contra fuego, ya que estos materiales de construcción poseen una baja propagación del fuego y, sobre todo, una barrera en contra de la ignición.

Debido a las necesidades de aislamiento térmico en paredes y techos de edificios, casas-habitación y naves industriales, hay una demanda potencial para los materiales producidos en los últimos años por FANOSA. Y, con la idea de atenderla, se canalizan esfuerzos hacia la generación de otros que permitan eficientar el consumo de energía, en especial respecto a los utilizados tradicionalmente (ladrillo-loza). Se busca además, que garanticen altos grados de seguridad ante conatos de incendio, así como eficiencia en términos de extinción de flama y de resistencia estructural cuando se presente el incendio.

DESARROLLOS TECNOLÓGICOS APLICADOS Y PROTECCIÓN INDUSTRIAL (PATENTES)

Como resultado adicional a los proyectos de investigación revisados, FANOSA ha avanzado en el diseño de una serie de prototipos, así como en la fabricación/adequación de equipos. Y esto constituye la segunda etapa en el proceso de vinculación establecido entre la empresa, el sector público y las universidades. Entre los avances tecnológicos concretos de ésta se pueden señalar la automatización de líneas, la ranuradora de bovedillas, el arpa de corte transversal, los elevadores y empacadoras, el robot para apilado y una planta piloto para producción de material nuevo.

Además de lo anterior, las repercusiones del proyecto se reflejaron en los siguientes campos:

- *Productividad.* El desarrollo de un material compuesto con matriz fenólica y perlitas de EPS vino a cubrir un requerimiento de mercado; de igual forma a satisfacer necesidades de la línea de producción como mejoras en tiempos y seguridad para el trabajador. Los reactores con sistema de mezclado para resinas y EPS disminuirán tiempos de reacción y de producción de bloques de aislante térmico. Como ya se mencionó, una de las características de estos materiales es ser ininflamable en alto grado, una oportunidad para incursionar en mercados internacionales. Otro beneficio es la función de aislante térmico-arquitectónico, es decir, la reducción de costos por consumo elevado de climatizadores en los hogares.
- *Uso de tecnología.* En la actualidad, FANOSA incursiona en el desarrollo de materiales ininflamables similares a los que tienen los que sólo se basan en EPS. Al vincularse con las IES y con los centros de investigación (CI) se hace uso del conocimiento especializado de científicos y tecnólogos, así como

también de una tecnología precursora. Estas sinergias aportan materiales nuevos y mejoras en los procesos, y también generan conocimiento en investigación básica de materiales y polímeros.

- *Aborro de energía.* Un mayor aislamiento térmico, en comparación con el de los materiales tradicionales de construcción deriva en ahorro de energía. La disminución del consumo de electricidad de aires acondicionados o climatizadores de los hogares alcanza 30 por ciento, a lo que se suma la resistencia al fuego.
- *Social.* Esta tecnología permitirá el lanzamiento a mediano plazo de un producto nuevo, lo cual beneficiará al cliente.
- *Ambiental.* Las propiedades del material compuesto de matriz fenólica y EPS garantizan un mejor aprovechamiento de los recursos, al reducir el consumo energético durante la fabricación en un sistema de reactores y moldeo de bloques, así como también el de los usuarios finales (hogares).
- *Económico.* Con el material compuesto el consumo de electricidad en los hogares es menor, como consecuencia del aislamiento térmico. Reduce el gasto energético y, por ende, el económico. La vinculación con los CI posibilita el desarrollo de tecnologías propias, que ayudan a elevar el uso de mejores herramientas para la industria y de las mismas tecnologías, que pueden traducirse en derechos de propiedad industrial y que será posible explotar después.

Figura 4

Avances en materia de diseño y escalamiento tecnológico

Tipo de avance	Producto/equipo desarrollado
Diseño de prototipo (piloto)	Reactor químico para mezclado de componentes de resinas fenólicas, aditivos, catalizadores y perlita de EPS para material compuesto (constituido por varios componentes)
Diseño y fabricación	Máquina para moldeo de bloques de material compuesto
Diseño	Prensa para moldeo de materiales compuestos
Diseño	Reactor para curado (envejecimiento de los bloques de material compuesto)
Diseño	Planta escalada semiindustrial o industrial; permitiría cubrir volúmenes de producción para la demanda inicial de este producto nuevo

Fuente: UNISON (2011).

Un aspecto que vale la pena destacar sobre estos resultados es que los diseños y los equipos obtenidos forman parte del patrimonio intelectual de la empresa. Por tal razón, a la par de las labores de diseño se instauran mecanismos para patentar los resultados. Entre los avances en el rubro de protección industrial puede mencionarse la patente en trámite (MX/a/2012/004154), correspondiente al “producto aislante térmico y anti inflamable elaborado a partir de resinas fenólicas y perlitas de poliestireno pre-expandido”.¹⁴ Además del aporte tecnológico y de conocimiento que representa esta patente, consolida todo el trabajo de vinculación interinstitucional realizado como parte de la estrategia de escalamiento tecnológico; así como un

¹⁴ La patente se solicita a nombre de FANOSA. En ella se reconocen como inventores a Alberto Leyva, Rogelio Gámez, Ramiro Aragón y Alejandro Duarte.

claro ejemplo de los beneficios que tiene la adopción de las estrategias de competitividad sistémica para empresas de este tipo. Otro resultado fue la eficiencia en el uso de recursos humanos y productivos, así como la estrategia de inversión correcta. La colaboración con empresas e instituciones afines para llevar a cabo los proyectos mencionados. La oportunidad de aprovechar estímulos y apoyos públicos¹⁵ permitió fortalecer cada desarrollo planteado en un marco de colaboración en materia de ciencia y tecnología.

Este proceso hizo posible concretar esquemas de colaboración con grupos de tecnólogos e investigadores dentro de las IES y los CI de Sonora; de igual forma, se concretó la operación de protocolos prácticos e incluyentes, y su empate correspondiente con la estrategia de la empresa. Todo este proceso ha permitido potenciar los proyectos y sus resultados, y llevarlos a un plano de investigación aplicada dentro de las líneas de trabajo, lo que ha resultado en un esquema de avance tecnológico inédito y sumamente provechoso para FANOSA.¹⁶

CONCLUSIONES

Cada vez son más las firmas que adoptan mecanismos de colaboración con los gobiernos y el sector educativo, lo que se ha constituido, en los últimos años, un estímulo para la competitividad sistémica y la productividad de las empresas y economías regionales o nacionales. FANOSA ha experimentado el desarrollo tecnológico, y ha encontrado en él una alternativa para mejorar la competitividad y reducir los costos; ha visualizado la oportunidad de apropiarse de él y protegerlo, con la opción de transferirlo y de esa manera generar más crecimiento y productividad.

Lograr el desarrollo tecnológico, así como alcanzar niveles óptimos de competitividad exige canalizar inversiones en avance científico. FANOSA ha tomado en cuenta esta estrategia desde hace años, en especial al invertir en tecnologías propietarias, apostado en la generación de conocimiento y productos propios para lo cual se ha acompañado del talento científico y técnico que existe en Sonora. En este proceso, la empresa ha consolidado proyectos de gran tamaño, calidad y pertinencia, gracias a los fondos otorgados por CONACYT y el Gobierno del estado, a través de su Secretaría de Economía. Estos proyectos han hecho que FANOSA consolide grupos de científicos y tecnólogos asesores, así como acuerdos de colaboración con las IES de dentro y fuera de la entidad, permitiéndole mantenerse en niveles de competitividad internacional.

Además, los diseños y el equipo, fabricado en la red de innovación conformada, estuvieron a cargo de recursos intelectuales sonorenses, lo que constituye una fortaleza adicional de la empresa, elevando su competitividad de manera considerable. Cada una de las instituciones y empresas involucradas en los proyectos aportaron, en la medida de sus capacidades, las alternativas viables de diseño y desarrollo para cada equipo. Los grupos de trabajo han estado conformados por sonorenses altamente calificados.

BIBLIOGRAFÍA

Castilleja Vargas, L. s/f. Instrumentos de medición de la competitividad. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

¹⁵ Es importante señalar que los proyectos 2010 y 2011 se han promovido ante programas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Secretaría de Economía del Gobierno del Estado de Sonora, y se han apoyado mediante estímulos, por lo que se han extrapolado los recursos y fortalecido las relaciones.

¹⁶ Al principio se buscaba realizar los proyectos con inversión propia, con el recurso humano disponible dentro de la empresa y la compra de insumos y equipos en el extranjero, sin la colaboración de los IES ni los CI.

- CEPAL. 2002. Competitiveness and Integration in the Global Economy: New Approaches.
- Conroy, M. E. 1975. Rejection of Growth Center Strategy in Latin American Regional Development Planning. *Land Economics* XLIX (4): 369-380.
- Esser, K., W. Hillerbrand, D. Messner y J. Meyer-Stamer. 1994. *Competitividad sistémica. Competitividad internacional de las empresas y políticas requeridas*. Berlín: Instituto Alemán de Desarrollo.
- FM Global. 2010. Approval Standard for Class 1 Fire Rating of Insulated Wall or Wall and Roof/Ceiling Panels, Interior Finish Materials or Coatings and Exterior Wall Systems. Class Number 4880. <http://www.fmglobal.com/>
- Girelli, S. 2004. Competitiveness of Nations, World Competitiveness Project. International Institute for Management Development.
- Ibáñez, Ciro y J. Caro Troncoso. 2001. Algunas teorías e instrumentos para el análisis de la competitividad. *Competitividad de la agricultura. Cadenas agroalimentarias y el impacto del factor localización espacial*. Cuaderno técnico 16. Costa Rica: Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- ITH. 2011. Tecnologías de corte inteligente y reciclado para desarrollo de nuevos productos a base poliestireno. Informe técnico final. México.
- López Ortega, Eugenio. (1999). *El concepto de competitividad en el posicionamiento tecnológico*. Colección Aprender a Aprender. México: Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades-Universidad Nacional Autónoma de México.
- OCDE. 2002. Mejores prácticas de desarrollo local. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, México.
- Organización de Naciones Unidas-CEPAL. 2001. Elementos de competitividad sistémica de las pequeñas y medianas empresas (pyme) del istmo centroamericano. Documento LC/MEX/1.499.
- Porter, M. 1990. *The Competitive Advantage of Nations*. Nueva York: Free Press (www.gestiopolis.com/canales/economia/articulos/no%206/Compde%20Porter.htm).
- Rojas, P., y S. Sepúlveda. 1999. ¿Qué es competitividad? En *Competitividad de la agricultura. Cadenas agroalimentarias y el impacto del factor localización espacial*. Cuaderno técnico 2. Costa Rica: IICA.

Romo Murillo, D., y G. Musik. 2005. Sobre el concepto de competitividad. *Comercio Exterior* 55 (3).

UNISON. 2011. Desarrollo de tecnología de nuevos productos sintéticos antiinflamables. Informe técnico final del proyecto. México.

Junio de 2014
(edición impresa)

Mayo de 2018
(edición electrónica)

Diseño de portada y compuedición:
Miguel Ángel Campuzano Meza

Corrección de estilo:
Alma Celina Quiroz Trujillo

Departamento de Difusión Cultural de
El Colegio de Sonora

